




NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

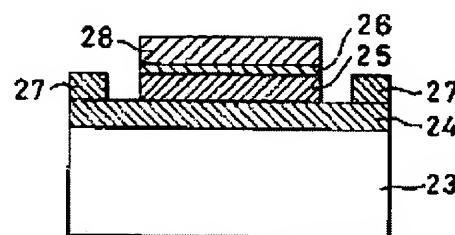
Patent number: EP0607435
Publication date: 1994-07-27
Inventor: IMAI HIDEAKI (JP); MIYATA KUNIO (JP); HIRAI TADAHICO CITY-LIFE MUSAS (JP)
Applicant: ASAHI CHEMICAL IND (JP)
Classification:
- **international:** H01L33/00; H01L21/203; H01L31/105; H01L21/20
- **europaean:** H01L21/203; H01L21/203C; H01L31/18E3; H01L33/00G3B2
Application number: EP19920916808 19920807
Priority number(s): CA19922120610 19920807; WO1992JP01016 19920807

Also published as:

 WO9403931 (A1)
 EP0607435 (A4)
 EP0607435 (B1)

Abstract of EP0607435

A nitride based semiconductor device, wherein provided are a substrate (23), a first layer comprising an oriented polycrystalline nitride based semiconductor (24, 29, 32, 35, 39, 45, 46, 49) which is formed directly on the substrate (23) and has a thickness less than 5000 angstrom, operation layers (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47, 48) made of single crystal nitride based semiconductors and formed directly on the first layer, and electrodes (27, 28, 43, 44) connected with predetermined places and at least one electrode (28, 44) of the electrodes (27, 28, 43, 44) are in connection with the first layer. The semiconductor device is manufactured by a crystal growth equipment by a molecular beam epitaxy method, wherein provided are a gas source (7) which feeds a compound containing nitrogen in the form of a gas, solid sources (2, 3, 4) which feed group III elements, and sources (5, 6) which feed n-type and p-type dopants. The first layer is created on the substrate (9) at a growth speed of 0.1-20 angstroms/sec by feeding the gas-like compound containing nitrogen and the group III elements onto the surface of the substrate (9) under the pressure less than 10<->5> Torr and at a temperature of the substrate (9) of 300-1000 DEG C. The operation layer is created on the first layer at a growth speed of 0.1-10 angstroms/sec by feeding the gas-like compound containing nitrogen and the group III elements onto the surface of the first layer under the pressure less than 10<->5> Torr and at the temperature of the substrate of 300-1000 DEG C.

**FIG.2**

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

97 EP 0 607 435 B 1

10 DE 692 30 260 T 2

51 Int. Cl.⁷:
H 01 L 33/00
H 01 L 21/203
H 01 L 21/20
H 01 L 31/105
H 01 L 31/18

- | | | |
|----|-------------------------------------------------------|----------------|
| 21 | Deutsches Aktenzeichen: | 692 30 260.3 |
| 86 | PCT-Aktenzeichen: | PCT/JP92/01016 |
| 96 | Europäisches Aktenzeichen: | 92 916 808.6 |
| 87 | PCT-Veröffentlichungs-Nr.: | WO 94/03931 |
| 86 | PCT-Anmeldetag: | 7. 8. 1992 |
| 87 | Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: | 17. 2. 1994 |
| 97 | Erstveröffentlichung durch das EPA: | 27. 7. 1994 |
| 97 | Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: | 3. 11. 1999 |
| 47 | Veröffentlichungstag im Patentblatt: | 13. 7. 2000 |

DE 692 30 260 T 2

73 Patentinhaber:
Asahi Kasei Kogyo K.K., Osaka, JP

74 Vertreter:
Blumbach, Kramer & Partner GbR, 81245 München

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, NL

72 Erfinder:
IMAI, Hideaki, Fuji-shi, Shizuoka 416, JP; MIYATA,
Kunio, Shimogyo-ku, Kyoto-shi, JP; HIRAI,
Tadahiko, 805 City-Life Musashikoganei,
Koganei-shi, Tokyo 184, JP

54 HALBLEITERANORDNUNG AUF NITRIDBASIS UND VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 692 30 260 T 2

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung, die für lichtemittierende Dioden und Laserdioden verwendet werden kann, die Licht im Wellenlängenbereich von Ultraviolett bis Orange emittieren und die geeignet sind als Lichtquellen für Anzeige-
5 Vorrichtungen, Lichtübertragungs-Vorrichtungen und Anlagen im Bereich der Büroautomation. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung.

Halbleiter-Vorrichtungen, insbesondere sichtbares Licht emittierende Dioden (light emitting
10 diodes, LED), werden extensiv für Anzeige-Vorrichtungen und für verschiedene Lichtquellen verwendet. Sie wurden jedoch noch nicht als lichtemittierende Dioden im Bereich des ultravioletten bis blauen Lichts verwendet. Es erfolgte jedoch eine schnelle Entwicklung lichtemittierender Dioden zur Verwendung in Anzeigen, die die drei Grundfarben benötigen. Der erwartete zehnfache Anstieg der Aufzeichnungsdichte bei Verwendung von Laserdioden
15 als Lichtquelle für optische Discs und Compactdiscs wurde jedoch noch nicht erreicht. Lichtemittierende Dioden und Laserdioden, die Licht im ultravioletten bis blauen Bereich des Lichts emittieren, machen Gebrauch von Halbleiter-Verbindungen wie beispielsweise GaN, ZnSe, ZnS und SiC.

20 Jedoch ist es mit diesen Halbleiter-Verbindungen mit breiter Bandlücke allgemein schwierig, dünne einkristalline Filme zu erzeugen, und Verfahrensweisen zur Herstellung dünner Filme, die für lichtemittierende Vorrichtungen verwendet werden können, müssen noch gefunden werden. Beispielsweise wurde Gallium-Nitrid (GaN), das sich vielversprechend als Material für eine Vorrichtung zeigt, die blaues Licht emittiert, bis heute als dünner Film auf der Saphir-
25 C-Fläche (0001-Fläche) durch Aufwachsen mittels des Verfahrens zur chemischen Abscheidung von metallorganischen Verbindungen aus der Dampfphase (Metal Organic Chemical Vapor Deposition; MOCVD) oder mittels des Dampfphasen-Epitaxieverfahrens (Vapor Phase Epitaxy; VPE) gebildet (Journal of Applied Physics 56 (1984), 2367 bis 2368). Mit dieser Verfahrensweise ist es jedoch erforderlich, eine hohe Reaktionstemperatur
30 einzustellen, um eine gute Kristallisation zu erhalten. Folglich ist die Produktion extrem schwierig. Da außerdem ein Wachstum bei einer hohen Temperatur erfolgt, können Defekte

aufgrund eines Mangels an Stickstoff auftreten, und die Träger-Dichte kann extrem groß werden. Als Ergebnis dessen sind zufriedenstellende charakteristische Halbleitereigenschaften schwierig zu erhalten. Um diese Probleme zu überwinden, wird eine Aluminiumnitrid-Pufferschicht auf der Saphir-C-Oberfläche (0001-Fläche) gebildet, und ein

5 dünner GaN-Film einer vergleichsweise großen Filmdicke wird oben auf dieser Schicht gebildet und so eine einen Halbleiter umfassende lichtemittierende Vorrichtung hergestellt.

In Tests zum Erreichen des Wachstums eines Films bei niedrigen Temperaturen wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem das Stickstoff-Zufuhrgas durch Bestrahlung mit einer

10 Elektronendusche aktiviert wird (Japanese Journal of Applied Physics 20 (1981), L545). Jedoch ist es selbst mit diesem Verfahren nicht möglich, Filmqualitäten zu erhalten, wie sie für eine Lichtemission geeignet sind. Außerdem wird zum Schutz gegen einen Stickstoff-Mangel eine hochaktivierte Stickstoff-Quelle bei der Durchführung des Film-Wachstums verwendet. Um den hochaktivierten Stickstoff zu erhalten, wird eine Verfahrensweise unter

15 Einsatz eines Plasmas verwendet (Journal of Vacuum Science and Technology A7 (1989), 701). Jedoch war dieses Verfahren bis jetzt erfolglos.

Untersuchungen wurden auch mit GaInN-Mischkristall-Dünnschichten gemacht. Die meisten dieser Tests schlossen das Wachstum eines dünnen Films auf der Saphir-C-Fläche unter

20 Anwendung des Metal Organic Vapor Phase Epitaxy-Verfahrens (MOVPE)-Verfahrens (Journal of Applied Physics 28 (1989), L-1334) ein. Mit diesem Verfahren ist jedoch die Wachstumstemperatur für GaN und für InN merklich unterschiedlich, was es schwierig macht, einen GaInN-Mischkristall mit guter Qualität zu erhalten. Auch wurde für GaAlN-Mischkristalle ein Beispiel des Wachstums eines Films mittels eines Molekularstrahl-

25 Epitaxie-Verfahrens (molecular beam epitaxy; MBE) mit einer Gasquelle unter Verwendung von Ammoniak berichtet (Journal of Applied Physics 53 (1982), 6844 bis 6848; und Applied Physics Letters 60 (1992), 2505 bis 2507). Jedoch wurde mit diesen Verfahren trotz der Tatsache, daß eine Kathodolumineszenz bei Temperaturen des flüssigen Stickstoffs beobachtet wurde, ein dünner Film guter Qualität zur Herstellung der lichtemittierenden

30 Vorrichtungen nicht erhalten.

Bei Anwendung der herkömmlichen MOCVD- und MOVPE-Verfahrensweisen für die Herstellung von Nitrid-Halbleiter-Dünnschichten ist es erforderlich, ein Quellenmaterial zu verwenden, das Kohlenstoff enthält. Da der Druck während des Film-Wachstums hoch ist, treten Probleme mit der Absorption signifikanter Mengen von Kohlenstoff-Verunreinigungen in dem Dünnschicht auf, so daß daraus ein Nitrid-Halbleiter mit schlechter Qualität resultiert.

Alternativ dazu gibt es einen vorgeschlagenen Aufbau, in dem ein Einkristall-Dünnschicht einer Halbleiter-Verbindung der Gruppe III bis V einschließlich In und/oder Ga direkt auf einem aus einem Einkristall bestehenden elektrisch isolierenden Substrat zum Wachsen gebracht wird (US-Patent Nr. 4,404,265). Bei diesem Vorschlag bestehen jedoch die folgenden Probleme: Die Bedingungen, die zum direkten Wachsenlassen des Einkristalls aus einer Halbleiter-Verbindung der Gruppe III bis V auf dem Substrat erforderlich sind, sind extrem beschränkt. Folglich ist die Herstellung nicht einfach. Außerdem tritt dann, wenn man einen dünnen Film aus einem Halbleiter-Material direkt auf dem Substrat wachsen läßt, eine signifikante Spannung in dem Halbleiter-Dünnschicht aufgrund der Gitter-Fehlanpassung zwischen dem Substrat und dem Halbleiter auf, was zu einer schlechten Haltbarkeit der Vorrichtung führt. Da außerdem der Einkristall-Halbleiter auf dem Substrat gebildet wird, wird die Leitfähigkeit verringert, was es schwierig macht, einen zufriedenstellenden Ohmschen Kontakt für den Betrieb der Vorrichtung auszubilden.

Das Dokument "Patent Abstracts of Japan", Band 14, Nr. 263 (E-938)", das auf die Druckschrift JP-A 2-081,482 hinweist, offenbart lichtemittierende Halbleiter-Verbindungselemente auf Galliumnitrid-Basis, in denen eine polykristalline AlN-Pufferschicht auf einem Saphir-Substrat gebildet wird, gefolgt von einer GaN-Schicht des n-Typs und einer GaN-Schicht des i-Typs. Es wird behauptet, daß mit einer derartigen Struktur einschließlich der einheitlich dünnen AlN-Schicht die Einkristall-Eigenschaften der GaN-Schichten des n-Typs und des i-Typs verbessert werden können.

Das Dokument „S. Nakamura et al.; High Power GaN P-N Junction Blue Light Emitting Diodes; in: Japanese Journal of Applied Physics, Band 30, Nr. 12A (Dezember 1991), Seiten L 1998 bis 2002" offenbart eine Struktur der GaN-LED mit einem p-n-Übergang, die ein

Saphir-Substrat, eine darauf abgeschiedene GaN-Pufferschicht und eine GaN-Schicht des n-Typs und eine GaN-Schicht des p-Typs oben auf dieser Struktur umfaßt. Keine der Elektroden ist direkt mit der ersten Schicht verbunden, und es findet sich keine Lehre in dem Dokument über die Orientierung der GaN-Pufferschicht.

5

Das Dokument EP-A 0 483 688 offenbart lichtemittierende Vorrichtungen mit einer Halbleiter-Verbindung aus der GaN-Gruppe, die eine AlN-Pufferschicht umfassen, die auf einem Saphir-Substrat abgeschieden ist. Oben auf der Pufferschicht werden abgeschieden eine GaN-Schicht des n⁺-Typs mit einer hohen Trägerkonzentration, eine GaN-Schicht des n-Typs mit einer geringen Trägerkonzentration und eine GaN-Schicht des p-Typs. Zwei Al-Elektroden sind oben auf der genannten Struktur ausgebildet, wobei eine von ihnen die GaN-Schicht des n⁺-Typs über ein Loch in den oberen GaN-Schichten erreicht. Jedoch steht keine der Elektroden in direkter Verbindung zu der AlN-Pufferschicht. Außerdem schweigt dieses Dokument bezüglich der Orientierung der AlN-Schicht.

15

Mit den Nitrid-Halbleiter-Dünnschichten, wie sie oben beschrieben wurden, sind der GaAs-Halbleiter und der Si-Halbleiter verschieden. Da der Halbleiter kein Einkristall-Substrat eines eigenen Typs aufweist, muß man den Dünnschicht durch ein Heteroepitaxie-Verfahren wachsen lassen. Die Herstellung von dünnen Schichten, die eine gute Kristallisation zeigen und für Halbleiter-Vorrichtungen geeignet sind, insbesondere für lichtemittierende Vorrichtungen, ist also extrem schwierig.

20

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, sich mit den oben angesprochenen Problemen zu befassen und eine Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung bereitzustellen, insbesondere eine lichtemittierende Halbleiter-Vorrichtung, die gute Eigenschaften im ultravioletten bis orangefarbenen Bereich aufweist.

25

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurden ausgedehnte Forschungen im Zusammenhang mit den oben angesprochenen Problemen durchgeführt. Bei diesen Forschungen wurde eine Substrat-Oberfläche verwendet, die einen periodischen Atom-Abstand in wenigstens einer Richtung aufweist. Man ließ einen orientierten polykristallinen

30



- Nitrid-Halbleiter mit dem Atom-Abstand der Gitter-Oberfläche des Substrats nahe einem ganzzahligen Vielfachen desjenigen des Substrats direkt auf der Oberfläche des Substrats wachsen. Es wurde gefunden, daß durch diese Verfahrensweise ein einkristalliner Nitrid-Halbleiter-Dünnsfilm, der exzellente charakteristische Kristall-Eigenschaften trotz der
- 5 Tatsache aufweist, daß er extrem dünn ist, auf dem orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter zum Wachsen gebracht werden. Es wurde damit offensichtlich, daß dadurch, daß man dieser Verfahrensweise folgt, Halbleiter-Vorrichtungen erhalten werden konnten, die ausgezeichnete charakteristische Eigenschaften aufwiesen.
- 10 Die Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt somit ein Substrat, eine erste Schicht eines orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters mit einer Dicke von weniger als 50 nm (500 Å), die direkt auf dem Substrat angeordnet ist, eine Arbeitsschicht aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter, die direkt auf der ersten Schicht
- 15 angeordnet ist und wenigstens zwei elektrische Anschlüsse aufweist, die an vorbestimmten Stellen gebunden sind, wobei wenigstens einer der Anschlüsse direkt mit der ersten Schicht verbunden ist, worin wenigstens eine der Orientierungen der periodischen Anordnung der Atome auf der Oberfläche des Substrats und wenigstens eine der Orientierungen der Kristallachsen der Gitter-Fläche des Nitrid-Halbleiters der ersten Schicht, die in Kontakt mit dem Substrat steht, übereinstimmen und die Fehlanpassung eines ganzzahligen Vielfachen
- 20 von 1 bis 10 des Atom-Abstandes der letzteren Orientierung und des Atom-Abstandes der ersteren Orientierung innerhalb von 5 % liegt.

- Außerdem macht das Verfahren zur Herstellung der Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung Gebrauch von einem Molekülstrahl-Epitaxieverfahren mit einer
- 25 Gasquelle zur Zufuhr einer Verbindung einschließlich Stickstoff in gasförmigem Zustand, einer Quelle aus einem festen Körper zur Zufuhr von Komponenten der Gruppe III und einer Quelle zur Zufuhr von Dotierungsmitteln des n-Typs und des p-Typs. Eine in gasförmigem Zustand befindliche Verbindung einschließlich Stickstoff und eine Komponente der Gruppe III werden der Oberfläche des Substrats zugeführt, wobei sich das Substrat bei einer
- 30 Temperatur von 300 bis 1000 °C und unter einem Druck von weniger als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) befindet. So wird eine erste Schicht eines orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters

auf dem Substrat mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 2 nm/s (0,1 bis 20 Å/s) hergestellt. Anschließend wird bei einem Druck von weniger als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) und bei einer Substrat-Temperatur von 300 bis 1000 °C eine in gasförmigem Zustand befindliche Verbindung, die Stickstoff enthält, und eine Komponente der Gruppe III der Oberfläche der ersten Schicht unter Herstellung einer Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Arbeitsschicht auf der ersten Schicht mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 1 nm/s (0,1 bis 10 Å/s) zugeführt.

Mit der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht sind die Kristalle in der Nähe der Grenzfläche zwischen dem Substrat und dem Nitrid-Halbleiter in im wesentlichen derselben Richtung orientiert, und eine Kristallisation des Dünnsfilms verbessert sich mit steigendem Abstand von der Grenzfläche zwischen dem Substrat und dem Nitrid-Halbleiter.

Figur 1 ist eine perspektivische Ansicht, die ein hexagonales Kristallsystem zeigt, das eine Kristallfläche zeigt, die in einem Winkel von θ_1 zu der $(0\ 1\ \bar{1}\ 2)$ -Fläche in Richtung auf die $(\bar{2}\ 1\ 1\ 0)$ -Fläche geneigt ist.

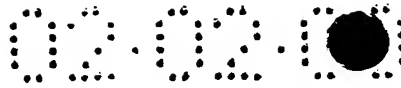
Figur 2 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung gemäß eines ersten Arbeitsbeispiels zeigt, die orientiertes polykristallines GaN/n-GaN/p-GaN umfaßt.

Figur 3 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

Figur 4 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die einen orientierten polykristallinen $\text{n}^+\text{-GaN}/\text{n-GaN}/\text{p-GaN}$ -Kristall umfaßt.

Figur 5 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{i-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

Figur 6 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ ($x \leq y$) umfaßt.



Figur 7 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}/\text{n-Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}/\text{p-Ga}_{1-b}\text{Al}_b\text{N}/\text{p-Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}$ umfaßt ($a \geq b$).

- 5 Figur 8 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}/\text{i-Ga}_{1-a-b}\text{In}_a\text{Al}_b\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$ umfaßt.

- 10 Figur 9 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{GaN}/\text{n-GaN}/\text{n-GaN}/\text{p-GaN}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

Figur 10 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die GaInN in nach Zusammensetzung abgestufter Struktur $/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

- 15 Figur 11 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die eine beanspruchte Übergitter-Struktur $/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

- 20 Figur 12 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/$ eine quantensenkende Struktur $/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

Figur 13 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine lichtemittierende Vorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}/\text{p-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ umfaßt.

- 25 Figur 14 ist eine schematische Ansicht, die eine Kristallwachstums-Vorrichtung zeigt, wie sie bei der Herstellung dünner Filme verwendet wird.

- 30 Figur 15 ist eine Graphik, die die charakteristischen Dioden-Eigenschaften einer GaN umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung veranschaulicht, die nach einem ersten Arbeitsbeispiel hergestellt wurde.

Figur 16 ist eine Graphik, die das Emissionsspektrum der GaN umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung veranschaulicht, die gemäß dem ersten Arbeitsbeispiel hergestellt wurde.

- 5 Figur 17 ist eine perspektivische Ansicht, die ein kubisches Kristallsystem zeigt, das eine Kristallfläche zeigt, die in einem Winkel von θ_2 zu der (001)-Fläche in Richtung auf die (100)-Fläche geneigt ist und in einem Winkel θ_3 in Richtung auf die (010)-Fläche geneigt ist.

- 10 Figur 18 ist eine perspektivische Ansicht, die ein orthorhombisches Kristallsystem zeigt, das eine Fläche zeigt, die in einem Winkel θ_4 zu der (001)-Fläche in Richtung auf die (100)-Fläche geneigt ist.

Figur 19 ist eine Struktur-Schnittansicht, die eine Licht-Nachweisvorrichtung zeigt, die orientiertes polykristallines $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{n-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{i-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{p-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ umfaßt.

15

- Mit dem Substrat gemäß der vorliegenden Erfindung fallen wenigstens eine der Orientierungen der periodischen Anordnungen der Atome auf der Oberfläche des Substrats und wenigstens eine der Orientierungen der Kristallachsen der Gitterflächen der ersten Nitrid-Halbleiter-Schicht, die in direktem Kontakt mit dem Substrat steht, zusammen, und die
20 Fehlanpassung eines ganzzahligen Vielfachen (von 1 bis 10) des Atom-Abstands der letztgenannten Orientierung und des Atom-Abstandes der erstgenannten Orientierung liegt vorzugsweise innerhalb von 5 %.

- Die Atome, die periodisch auf der Oberfläche des Substrats angeordnet sind, sind diejenigen
25 Atome, die die Gitterpunkte des Substrat-Kristalls einnehmen, und sind am weitesten oben auf der Kristall-Oberfläche angeordnet. Das ganzzahlige Vielfache des Atom-Abstandes in wenigstens einer Richtung der Gitterfläche des Nitrids des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters der ersten Schicht liegt im Bereich von 1 bis 10. Wenn das ganzzahlige Vielfache 10 übersteigt, wird das Stapeln der Atome, die auf der Substrat-Oberfläche außen angeordnet
30 sind, mit den Atom-Orbitalen des Nitrid-Halbleiters schlecht, so daß die Kristall-Orientierungsfunktion geringer wird, was es schwierig macht, eine gut orientierte

- polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht zu erhalten. Der Unterschied zwischen dem ganzzahligen Vielfachen des Atom-Abstands in wenigstens einer Richtung auf der Gitterfläche des Nitrids des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters und der Atom-Abstand der periodischen Anordnung der Atome auf der Oberfläche des Substrats in derselben Richtung liegt innerhalb des Bereichs von 5 %. Wenn der Unterschied (oder die Fehlanordnung) größer ist als dieser Wert, wird es schwierig, eine gut orientierte Nitrid-Halbleiter-Schicht zu erhalten. Ein Wert der Fehlanordnung von weniger als 3 % ist noch mehr bevorzugt, und weniger als 1 % ist noch weiter bevorzugt.
- 10 Bezüglich der Fehlanordnung zwischen dem Atom-Abstand des Substrats und demjenigen des Nitrid-Halbleiters ist festzustellen, daß sich dieser Begriff auf den Unterschied des Atom-Abstands zwischen dem Atom-Abstand (a) (in einer Richtung) der Gitterfläche des Nitrid-Halbleiters, der auf der Substrat-Oberfläche durch Aufwachsen gebildet wurde und in Kontakt mit der Substrat-Oberfläche, und dem Atom-Abstand (b) (in einer Richtung) der periodischen
- 15 Anordnung von Atomen auf einer speziellen geschnittenen Fläche des Einkristall-Substrats bezieht. Die Größe der Fehlanordnung wird wiedergegeben durch
- $$|b - n \times a| / b \times 100 (\%),$$
- 20 worin $n = 1$ bis 10 ist. Der Atom-Abstand kann aus den jeweiligen Gitterkonstanten des Nitrid-Halbleiters und des Einkristall-Substrats bestimmt werden. Diese können berechnet werden, sobald einmal eine Entscheidung bezüglich der geschnittenen Fläche des Substrats getroffen wurde.
- 25 Außerdem ist es sogar noch mehr bevorzugt, wenn die Atom-Abstands-Fehlanpassung zwischen dem ganzzahligen Vielfachen des Atom-Abstands in einer zweiten Richtung der Gitterfläche des Nitrids des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters der ersten Schicht und dem Atom-Abstand der periodischen Anordnung von Atomen auf der oberen Fläche des Substrats in derselben zweiten Richtung ebenfalls innerhalb des Bereichs von 5 % liegt. In diesem Fall ist die Form der Gitterfläche des Nitrids des orientierten polykristallinen Nitrid-
- 30 Halbleiters vorzugsweise dieselbe wie diejenige der periodischen Anordnung der Atome auf

der Substrat-Oberfläche.

Die folgenden Substrate können im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendet werden: Einkristall-Halbleitersubstrate, wie beispielsweise Si, Ge, SiC, Halbleiter-Substrate von Verbindungen der Gruppen III bis V des Periodensystems, wie beispielsweise GaAs, InAs, InP und GaSb sowie Einkristall-Substrate, wie beispielsweise AlN, ZnO, Saphir (Al_2O_3), Quarz (SiO_2), TiO_2 , MgO, MgF_2 , CaF_2 und SrTiO_3 . Um den oben genannten Bedingungen zu genügen, läßt man den Substrat-Kristall so wachsen, daß eine Oberfläche in dem gewünschten Winkel zu einer vorbestimmten Referenz-Fläche geneigt ist oder geschnitten wird und nach dem Wachsen des Kristalls poliert wird. Bei den oben genannten Substraten weicht die Gitterfläche oft um etwa ± 2 Grad von der Ausrichtung mit der Oberfläche ab, so daß eine vollständige Gitterfläche allgemein nicht auf der Oberfläche auftritt. Obwohl diese Art von Substrat auch verwendet werden kann, ist es bevorzugt, wenn die Fehlanordnung nicht mehr als ± 1 Grad beträgt, und es ist noch mehr bevorzugt, wenn diese Fehlanordnung geringer ist als $\pm 0,5$ Grad ist. Außerdem läßt man einen dünnen Einkristall-Film, der den oben genannten Bedingungen genügt, auf allgemein verwendetem Glas, einem polykristallinen Substrat oder einem Einkristall-Substrat als Substrat wachsen. Der erforderliche orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter kann dann oben auf diesem Substrat wachsen. Als Beispiel eines dünnen Einkristall-Films für GaN kann dies ein Einkristall-Silicium-Substrat sein, auf dem man ZnO oder SiC hatte aufwachsen lassen. Es gibt keine besonderen Beschränkungen hinsichtlich der Dicke des dünnen Einkristall-Films, vorausgesetzt, daß eine einheitliche Oberfläche erhalten wird.

Wenn dies für eine lichtemittierende Vorrichtung oder eine Licht-Nachweis-Vorrichtung erforderlich ist, ist es bevorzugt, ein transparentes Einkristall-Substrat mit einem Durchlaßgrad von nicht weniger als 80 % im Wellenlängenbereich von 360 bis 800 nm zu verwenden. Mit einem derartigen Substrat ist es möglich, daß das emittierte oder nachgewiesene Licht durch das Substrat hindurchtritt. Typische Beispiele transparenter Einkristall-Substrate schließen ein: Saphir, Einkristall-Quarz, MgO, TiO_2 , MgF_2 , CaF_2 und SrTiO_3 . Von diesen ist jedoch ein Substrat aus Saphir bevorzugt. Die C-Fläche (0001-Fläche), R-Fläche ($01\bar{1}2$ -Fläche) und die A-Fläche ($\bar{2}110$ -Fläche) des Saphirs können als

Gitterfläche verwendet werden, und die erforderliche Substrat-Oberfläche kann erhalten werden durch Neigen in dem erforderlichen Winkel zu diesen Referenz-Flächen. Wenn beispielsweise die R-Fläche ($01\bar{1}2$ -Fläche) des Saphirs verwendet wird, dann liegt bei $Ga_{1-x}In_xN$, worin x im Bereich von 0 bis 0,45 liegt, und bei $Ga_{1-y}Al_yN$, worin y im Bereich von 0 bis 1 liegt, die Längendifferenz zwischen dem Dreifachen der Länge der c-Achse des Nitrid-Halbleiters und der axialen Länge der Projektion der R-Fläche auf der c-Achse des Saphirs innerhalb von 5 %. Folglich ist dieses Material geeignet als Substrat für die vorliegende Erfindung. Außerdem ist die Verwendung der Fläche, die mit einem Winkel von 9,2 Grad zu der R-Fläche ($01\bar{1}2$ -Fläche) des Saphirs in Richtung auf die A-Fläche ($\bar{2}110$ -Fläche) geneigt ist, als Substrat-Fläche noch mehr bevorzugt, da in diesem Fall das Dreifache der Länge der c-Achse des Nitrid-Halbleiters und das Vierfache der Länge der Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des Nitrid-Halbleiters beide innerhalb von 5 % des periodischen Atom-Abstands auf der Fläche liegen, die mit einem Winkel von 9,2 Grad zur R-Fläche ($01\bar{1}2$ -Fläche) in Richtung auf die A-Fläche ($\bar{2}110$ -Fläche) geneigt ist.

Es gibt keine besonderen Grenzen der Dicke des Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung. Wenn das Substrat jedoch im Rahmen einer lichtemittierenden Vorrichtung verwendet wird, wobei Licht durch das Substrat hindurchtritt, sollte die Dicke vorzugsweise so dünn wie möglich sein. Rein praktisch muß notwendigerweise die mechanische Festigkeit sowohl bei der Herstellung des dünnen Nitrid-Halbleiter-Films als auch bei der Herstellung der nachfolgenden Vorrichtung beachtet werden. Folglich ist eine Substrat-Dicke von 0,05 bis 2,0 mm bevorzugt. Wenn die Dicke geringer ist als 0,05 mm, ist die mechanische Festigkeit schlecht, was eine Handhabung schwierig macht. Wenn die Dicke oberhalb von 2,0 mm liegt, wird es schwierig, das Substrat zur Verwendung in Elementen zu schneiden. Wenn außerdem das Substrat für lichtemittierende Elemente verwendet wird, wird die Licht-Extraktionseffizienz verringert.

Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß die Nitrid-Halbleiter-Schicht, die direkt auf dem Substrat durch Wachsen aufgebracht wird, eine orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht ist, die eine Dicke von nicht mehr als 500 nm (5000 Å) hat. Wenn die orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht in direktem Kontakt mit dem Substrat

steht, fällt wenigstens eine der Orientierungen der periodischen Anordnung der Atome auf der Oberfläche des Substrats mit wenigstens einer der Orientierungen der Kristallachse der Gitterfläche der ersten Nitrid-Halbleiter-Schicht, die in direktem Kontakt mit dem Substrat steht, zusammen. Außerdem liegt die Fehlanordnung eines ganzzahligen Vielfachen (von 1
5 bis 10) des Atom-Abstands der letztgenannten Orientierung und des Atom-Abstands der ersten Orientierung innerhalb von 5 %. Folglich wächst selbst in einem Bereich, der nahe der Oberfläche und der Nitrid-Halbleiter-Grenzfläche liegt, der Kristall in zwei Dimensionen und paßt sich selbst in einer Richtung im Hinblick auf eine minimale Fehlanordnung an. Außerdem verbessert sich die Kristallinität des dünnen Films mit zunehmendem Abstand von
10 der Substrat-Oberfläche. So kann bei der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung der Kristall des Nitrid-Halbleiters parallel mit der Substrat-Oberfläche ausgerichtet werden, so daß eine glatte Oberfläche möglich ist. Folglich kann eine Arbeitsschicht, die gute charakteristische Eigenschaften hat, durch Wachsen oben auf dieser Schicht aufgebracht werden. Dieses Phänomen, bei dem die Orientierung verbessert
15 wird, kann während des Wachstums des dünnen Halbleiter-Films durch Verfahrensweisen der refraktiven Hochenergie-Elektronenbeugung (Refractive High Energy Electron Diffraction; RHEED) beobachtet werden. Es kann auch beobachtet werden, nach dem Wachstum des dünnen Films, und zwar durch Verfahrensweisen unter Verwendung eines Transmissions-Elektronenmikroskops oder mittels Röntgenbeugungs-Verfahrensweisen. Obwohl die Dicke
20 der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht geringer ist als 500 nm (5000 Å), hängt dies von der Film-Wachstumsrate und dem Grad der Fehlanordnung ab. Wenn die Film-Wachstumsrate oder die Fehlanordnung groß sind, wird ein dicker orientierter polykristalliner Nitrid-Halbleiter-Film nicht erhalten, und es besteht eine Neigung dazu, daß der Einkristall-Nitrid-Halbleiter mit einer rauen Oberfläche wächst. Wenn die orientierte
25 polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht unter Anwendung der Verfahrensweise der Molekülstrahl-Epitaxie (Molecular Beam Epitaxy; MBE) gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wird, ergibt eine Dicke von weniger als 500 nm (5000 Å) passende charakteristische Eigenschaften des Elements. Wenn die Dicke des dünnen Films größer ist als der vorgenannte Wert, wird die Wachstumszeit des dünnen Films übermäßig lang, so daß
30 dies unpraktisch ist. Wenn beispielsweise die Wachstumsrate des dünnen Films einige 0,1 nm (Å) pro Sekunde beträgt und die Fehlanordnung in einer Richtung etwa 1 % ist, ist es selbst

bei einer Dicke von 50 bis 100 nm (500 bis 1000 Å) nicht möglich, eine gut kristallisierte orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht mit einer glatten Oberfläche zu erhalten. Wenn jedoch die Fehlanordnung in einer zweiten Richtung ebenfalls geringer ist als 1 %, ist es möglich, eine gut kristallisierte orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht mit einer glatten Oberfläche selbst dann zu erhalten, wenn die Filmdicke nur einige Nanometer (einige zehn Å) dick ist. Dementsprechend sollte die Filmdicke der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht vorzugsweise innerhalb eines Bereichs von 1 bis 500 nm (10 bis 5000 Å) liegen.

- 10 Die orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung kann Stickstoff und wenigstens eine Komponente der Gruppe III des Periodensystems der Elemente umfassen, die gewählt ist aus Al, Ga oder In.

Wenn man beispielsweise einen orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter, der Ga als Haupt-Komponente aufweist, auf einem Saphir-Substrat wachsen läßt, ist die resultierende Struktur derart, daß die Richtung der C-Achse des Nitrid-Halbleiters auf der R-Fläche des Saphirs mit der axialen Richtung der Projektion der c-Achse des Saphirs auf die R-Fläche ausgerichtet ist. Die Dicke der Schicht hängt von der Film-Wachstumsgeschwindigkeit ab und liegt normalerweise bei 30 bis 250 nm (300 bis 2500 Å). Wenn darüber hinaus die Fläche, die in einem Winkel von 9,2 Grad (θ_1) zu der R-Fläche ($0\ 1\ \bar{1}\ 2$ -Fläche) des Saphirs in Richtung auf die A-Fläche ($\bar{2}\ 1\ 1\ 0$ -Fläche) geneigt ist, als Substrat-Fläche verwendet wird, wird ein extrem dünner Film aus orientiertem polykristallinem Nitrid-Halbleiter mit einer Dicke von weniger als einigen Nanometern (einigen zehn Å) erhalten, der eine einheitliche Oberfläche und eine gute Kristallisation aufweist.

25

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird in einem zweiten Aspekt des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters, der in direktem Kontakt mit der Substrat-Oberfläche steht, der Zusammensetzung des Nitrid-Halbleiters eine hinsichtlich der Zusammensetzung abgestufte Struktur gegeben, wobei sich die Struktur schrittweise von der Substratseite her ändert und am Ende eine Zusammensetzung ergibt, wie sie für die Arbeitsschicht erforderlich ist. Die hinsichtlich der Zusammensetzung abgestufte Struktur schließt das Wachsenlassen

30

eines dünnen Halbleiter-Films, der $\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) auf dem Substrat unter
letztlichem Erhalt der erforderlichen Struktur der Arbeitsschicht ein. Bei der
Zusammensetzung von $\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$ mit ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) können die Werte von x
und/oder y schrittweise von der Substrat-Seite her geändert werden. Diese Änderung kann
5 bestimmt werden unter Beachtung der erforderlichen Eigenschaften der Arbeitsschicht und
können das Ändern der Zusammensetzung unter Erhöhung der Gitterkonstante oder das
Ändern der Zusammensetzung unter Senkung der Gitterkonstante einschließen. Mittels dieser
hinsichtlich der Zusammensetzung abgestuften Struktur kann die auf die Arbeitsschicht
ausgeübte Belastung selbst in solchen Fällen minimiert werden, in denen in dem Kristall
10 Defekte auftreten. Folglich können die charakteristischen Eigenschaften und die Haltbarkeit
der Vorrichtung verbessert werden.

In einem dritten Aspekt des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters, der in direktem
Kontakt mit der Substrat-Oberfläche steht, wird eine Mehrzahl von orientierten
15 polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schichten, die eine Zusammensetzung aufweisen, die
verschieden von derjenigen des Nitrid-Halbleiters ist und die eine Dicke von weniger als
10 nm (100 Å) aufweisen, in alternierend gestapelten Schichten angeordnet. Mit dieser
Laminat-Konstruktion können die charakteristischen Eigenschaften und die Haltbarkeit des
Elements verbessert werden. In diesem Fall wird die Wirksamkeit verringert, wenn die Dicke
20 der jeweiligen Schichten zu groß ist. Folglich sollte die Dicke geringer sein als 10 nm (100
Å), vorzugsweise weniger als 7 nm (70 Å) und noch mehr bevorzugt weniger als 5 nm (50 Å).
Außerdem sollte die Dicke der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht nicht
geringer sein als 1 nm (10 Å). Wenn die Dicke geringer ist als der vorgenannte Wert, treten
die nützlichen Wirkungen auf die charakteristischen Eigenschaften des Elements und die
25 Haltbarkeit des Elements nicht auf.

Die Flachheit der Oberfläche des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters, der auf diese
Weise erhalten wird, hat einen Wert der Ungleichmäßigkeit von weniger als 10 nm (100 Å).
Mit einer derartigen Oberfläche ist es also möglich, eine zweite Schicht mit guten
30 Kristallisations-Eigenschaften auf dieser Schicht zum Wachsen zu bringen. Dieser Wert der
Unebenheit kann mittels eines mit atomaren Kräften betriebenen Mikroskops gemessen

werden.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung hat die orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter-Schicht, die in direktem Kontakt mit der Substrat-Oberfläche gebildet wurde, eine gute elektrische Leitfähigkeit. Damit kann ein einheitliches elektrisches Feld im Bereich der gesamten Arbeitsschicht durch passendes Verbinden mit Anschlüssen zum Arbeiten der Vorrichtung angelegt werden.

Außerdem kann zur Verbesserung der Funktionen ein Dotieren mit Verunreinigungen des n-Typs oder des p-Typs durchgeführt werden. Insbesondere ist ein Dotieren mit Verunreinigungen des n-Typs bevorzugt. Zum n-Dotieren können Dotierungsmittel wie beispielsweise Si, Ge, C, Sn, Se, Te und dergleichen verwendet werden. Durch Variation der Art und der Menge des verwendeten Dotiermittels kann die Träger-Dichte gesteuert werden und der elektrische Widerstand verringert werden. Die Träger-Dichte sollte nicht geringer sein als 10^{17} cm^{-3} und vorzugsweise nicht weniger als 10^{18} cm^{-3} .

Der Einkristall-Nitrid-Halbleiter gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Komponente umfassen, die Stickstoff und wenigstens einen Bestandteil der Gruppe III des Periodensystems der Elemente enthält, der gewählt ist aus Al, Ga oder In. Die Bandlücke dieser Komponenten liegt innerhalb des breiten Bereichs von 2,4 eV für InN, 3,4 eV für GaN bis 6,2 eV für AlN. Eine Steuerung der Bandlücke kann dadurch erreicht werden, daß man dünne Mischkristall-Halbleiter-Filme herstellt, die Al, Ga oder In umfassen. Beispielhaft können derartige Filme AlGaN, GaInN oder AlGaInN umfassen. Außerdem kann eine Steuerung der Bandlücke erreicht werden durch Dotieren des Halbleiters oder des Mischkristall-Halbleiters mit einem Dotierungsmittel des p-Typs oder des n-Typs.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die Arbeitsschicht des Einkristall-Nitrid-Halbleiters, die auf dem Substrat gebildet wird, eine oder zwei Gruppen von Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schichten umfassen, die wenigstens eine Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs, des i-Typs oder des p-Typs aufweisen, und zwar in Abhängigkeit von dem Zweck des Elements. Das Dotiermittel des n-Typs kann beispielsweise Si, Ge, C, Sn, Se,

Te und dergleichen sein, während das Dotiermittel des p-Typs oder das Dotiermittel des i-Typs Mg, Ca, Sr, Zn, Be, Cd, Hg oder Li und dergleichen sein kann. Durch Ändern der Art des Dotiermittels und der verwendeten Menge kann die Leitfähigkeit des erforderlichen Typs und eine bestimmte Träger-Dichte erhalten werden. Außerdem kann eine Struktur hergestellt werden, in der die Dotiermittel-Konzentration in Richtung der Filmdicke schwankt, und es kann eine Struktur mit einer δ -Dotiermittel-Schicht erhalten werden, wobei ein Dotieren nur in einer speziellen Schicht durchgeführt wird.

Der orientierte polykristalline Nitrid-Halbleiter gemäß der vorliegenden Erfindung läßt sich von Einkristall-Nitrid-Halbleitern und polykristallinen Nitrid-Halbleitern unterscheiden durch Verwendung der Mehrachsen-Röntgenbeugung oder einer Verfahrensweise unter Verwendung eines Transmissions-Elektronenmikroskops oder einer Verfahrensweise unter Verwendung von Elektronenstrahl-Beugung.

Die Nitrid-Halbleiter-Vorrichtungen gemäß der Erfindung können beispielsweise sein: Feldeffekt-Transistoren, in denen der Mehrheits-Trägerstrom in der Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs oder des p-Typs gesteuert wird durch Anlegen einer Spannung an die Gate-Elektrode; bipolare Transistoren, die eine Nitrid-Halbleiter-Schicht-Struktur des n-p-n-Typs oder des p-n-p-Typs aufweisen; lichtemittierende Vorrichtungen, die eine Struktur aufweisen, die wenigstens eine Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs, p-Typs oder i-Typs aufweisen; Lichtnachweis-Vorrichtungen mit einer Struktur, die eine Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs/p-Typs/i-Typs umfaßt; Gleichrichter-Vorrichtungen mit einer Struktur, die eine Nitrid-Halbleiter-Schicht des p^+ -Typs/n-Typs/ n^+ -Typs umfaßt; lichtemittierende Vorrichtungen oder elektronische Vorrichtungen mit einer Struktur, die Halbleiter des n-Typs und/oder p-Typs mit einer Quantensenken-Struktur kombiniert. Jedoch sind die Nitrid-Halbleiter-Verbindungs-Vorrichtungen der vorliegenden Erfindung nicht auf die obengenannten Vorrichtungen beschränkt.

Die Figuren 2 bis 13 zeigen Beispiele von Strukturen von Arbeitsschichten zur Verwendung als lichtemittierende Vorrichtungen.



Bei der Struktur der Arbeitsschicht, wie sie in Figur 2 gezeigt ist, ist ein Einkristall (n-GaN) 25/ ein Einkristall (GaN) 26 auf einer orientierten polykristallinen GaN-Schicht 24 gebildet, die auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 mit der orientierten polykristallinen (GaN) Schicht 24 verbunden, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 26 gebildet.

Bei der Struktur der Arbeitsschicht, die in Figur 3 gezeigt ist, ist ein Einkristall (n-Ga_{1-x}In_xN) 30/ Einkristall (p-Ga_{1-x}In_xN) 31 auf einem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, das auf dem Substrat 23 ausgebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet. Außerdem ist eine n-GaN/i-GaN-Arbeitsschicht und eine n-Ga_{1-x}Al_xN/p-Ga_{1-x}Al_xN/p-Ga_{1-x}Al_xN-Arbeitsschicht möglich, wie auch die Strukturen der Figuren 4 bis 13.

Bei der Struktur der Arbeitsschicht, wie sie in Figur 4 gezeigt ist, ist ein Einkristall (n-GaN) 25/ ein Einkristall (p-GaN) 26 auf einem orientierten polykristallinen (n⁺-GaN) 32 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen (n⁺-GaN) 32 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 26 gebildet.

Bei der in Figur 5 gezeigten Struktur der Arbeitsschicht ist ein Einkristall (n-Ga_{1-x}In_xN) 30/ ein Einkristall (i-Ga_{1-x}In_xN) 33/ (p-Ga_{1-x}In_xN) 31, worin $0 \leq x \leq 1$ gilt, auf einem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet wurde. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet.

Bei der in Figur 6 gezeigten Struktur der Arbeitsschicht ist ein Einkristall (n-Ga_{1-x}In_xN) 30/ ein Einkristall (p-Ga_{1-y}In_yN) 34/(p-Ga_{1-x}In_xN) 31, worin $x \leq y$, $0 \leq x \leq 1$ und $0 \leq y \leq 1$ gelten, auf einem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen (Ga_{1-x}In_xN) 29 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet.

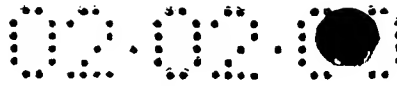
Bei der Struktur der in Figur 7 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}$) 36/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-b}\text{Al}_b\text{N}$) 37/($p\text{-Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}$) 38, worin $a \leq b$, $0 \leq a \leq 1$ und $0 \leq b \leq 1$ gelten, auf einem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}$) 35 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-a}\text{Al}_a\text{N}$) 35 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 38 gebildet.

Bei der Struktur der in Figur 8 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$) 40/ ein Einkristall ($i\text{-Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$) 41/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$) 42, worin $0 \leq x + y \leq 1$ gilt, auf einem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$) 39 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Al}_y\text{N}$) 39 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 42 gebildet.

Bei der Struktur der in Figur 9 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-GaN}$) 25/ ein Einkristall ($p\text{-GaN}$) 26/ ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31 auf einem orientierten polykristallinen GaN 24 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung sind jeweils Anschlüsse 27, 28 und 43 auf dem orientierten polykristallinen GaN 24, dem Einkristall-($p\text{-GaN}$) 26 und dem Einkristall-($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30 gebildet, und ein Anschluß 44 ist auf dem Einkristall-($p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31 der Arbeitsschicht gebildet.

Bei der Struktur der in Figur 10 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31 auf einer GaInN-Schicht 45 mit hinsichtlich der Zusammensetzung abgestufter Struktur gebildet, die auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf der hinsichtlich der Zusammensetzung abgestuften Struktur-Schicht 45 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet.

Bei der Struktur der in Figur 11 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$) 31 auf der beanspruchten Übergitter-Strukturschicht 49 gebildet, die auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf der



beanspruchten Übergitter-Strukturschicht 49 gebildet, und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet.

Bei der Struktur der in Figur 12 gezeigten Arbeitsschicht ist ein Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30/
 5 eine Quantensenke-Schicht 46/ ein Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31 auf einem orientierten
 polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 29 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet ist. Bei dieser
 Vorrichtung ist ein Anschluß 27 auf dem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 29 gebildet,
 und ein Anschluß 28 ist auf der Arbeitsschicht 31 gebildet. Die Quantensenke-Struktur
 umfaßt eine aktive Schicht der Nitrid-Halbleiter-Schicht mit einer Dicke von weniger als
 10 einigen zehn Nanometern (einige hundert Å), um den Quanteneffekt zu erhalten, wobei diese
 Schicht sandwichartig zwischen als Plattierung dienenden Nitrid-Halbleiter-Schichten mit
 weiterer Bandlücke angeordnet sind. Diese Art der Struktur schließt eine Einzel-
 Quantensenke-Struktur ein. Wenn diese in der Mitte zwischen einer dünnen Barrierschicht
 angeordnet ist und dadurch eine Mehrfach-Quantensenke-Struktur entsteht, kann die Effizienz
 15 der Lichtemission erhöht werden, und der Schwellenwert-Strom des emittierten Lichts kann
 verringert werden.

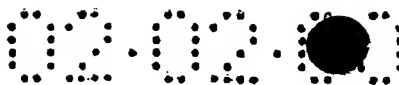
Bei der Struktur der in Figur 13 gezeigten Arbeitsschicht hat die lichtemittierende Schicht
 zwei Schichten. Eine Anordnung aus einem Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 30/ einem Einkristall ($p\text{-}$
 20 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31/ einem Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$) 47/ einem Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$) 34 ist auf
 einem orientierten polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 29 gebildet, das auf dem Substrat 23 gebildet
 ist. Bei dieser Vorrichtung sind jeweils Anschlüsse 27, 28 und 43 auf dem orientierten
 polykristallinen ($\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 29, dem Einkristall ($p\text{-Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$) 31 und dem Einkristall ($n\text{-Ga}_{1-}$
 $y\text{In}_y\text{N}$) 47 gebildet, und ein Anschluß 44 ist auf der Einkristall-Schicht ($p\text{-Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$) 34 der
 25 Arbeitsschicht gebildet. Bei diesem Element wird dann, wenn eine Spannung, beispielsweise
 zwischen den Anschlüssen 27 und 28, angelegt wird, ein blaues Licht emittiert, wird dann,
 wenn die Spannung zwischen den Anschlüssen 43 und 44 angelegt wird, ein grünes Licht
 emittiert, und wird dann, wenn die Spannung zwischen den Anschlüssen 27 und 44 angelegt
 wird, ein gelbes Licht emittiert. Durch Auswahl der Anschlüsse, an denen die Spannung
 30 angelegt wird, kann eine lichtemittierende Vorrichtung mit zwei verschieden gefärbten
 Lichtemissionen oder einer Lichtemission mit einer dazwischenliegenden Farbe erhalten

werden.

Die Filmdicke der Arbeitsschicht des Einkristall-Nitrid-Halbleiters sollte dünn sein, um das Ätz-Verfahren zu erleichtern. Eine Dicke von weniger als 5 μm (micron) ist bevorzugt, und
5 eine Dicke von weniger als 3 μm (micron) ist noch mehr bevorzugt. Im Fall der lichtemittierenden Vorrichtung sollte die Arbeitsschicht dünn gemacht werden, um die Effizienz des Ausstoßes des emittierten Lichts zu verbessern. Die Dicke sollte geringer sein als 3 μm (micron) und insbesondere bei lichtemittierenden Vorrichtungen mit kurzer Wellenlänge sollte die Arbeitsschicht so dünn wie möglich sein, da sie möglicherweise einer
10 Lichtabsorption unterliegt. Jedoch sollte die Schicht dick genug sein, um sicherzustellen, daß eine Tunnelstromfluß nicht auftritt. Folglich sollte die Dicke wenigstens 10 nm (100 Å) sein.

Bei Verwendung als lichtemittierende Vorrichtung des Halbleiter-Typs, beispielsweise als Metallisolator-Halbleiter-Vorrichtung (MIS-Vorrichtung) mit einer Einkristall-Nitrid-
15 Halbleiter-Arbeitsschicht des i-Typs sollte die Dicke nicht mehr als 500 nm (5000 Å) sein. Wenn die Dicke größer ist als der genannte Wert, wird der Stromfluß schwierig, so daß eine Verwendung als lichtemittierende Vorrichtung nicht möglich ist. Bei einem Element mit einem p-n-Übergang (p-n junction element) ist es erforderlich, daß die Dicke der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Arbeitsschichten sowohl des p-Typs als auch des n-Typs nicht größer ist als
20 3 μm (micron). Bei einer größeren Filmdicke wird die Wachstumszeit zu lang, was die Zeit zur Herstellung eines derartigen Elements unpraktisch lang macht. Darüber hinaus wird auch die Effizienz der Extraktion der emittierten Lichts verringert.

Bei Anpassung an eine Verwendung als Halbleiter-Element ist eine Oberflächenschicht aus
25 einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs oder des i-Typs erforderlich, die Anschlüsse auf dieser Oberflächenschicht gebildet aufweist. Obwohl eine effiziente Extraktion des in der Arbeitsschicht emittierten Lichts von der Seite des Substrats her möglich ist, ist es auch möglich, dieses Licht von der Seite der Oberflächen-Schicht zu entfernen. Um das Licht von der Seite der Oberflächenschicht zu entfernen, sollte der Anschluß, der in Form eines Musters
30 ausgebildet ist, um eine einheitliche Spannungsverteilung über die gesamte Oberflächenschicht sicherzustellen, nicht mehr als 50 % der Fläche der Oberflächenschicht



bedecken. Vorzugsweise sollte das Licht von der Seite des Anschlusses her abgenommen werden, ohne daß es durch die dicke Substrat-Schicht hindurchtreten muß. Wenn also der Anschluß mehr als 50 % der Oberflächenschicht bedeckt, wird die Effizienz der Licht-Extraktion reduziert. Das Muster des Anschlusses kann Formen, wie beispielsweise die Form
5 einer Wabe, die Form eines Mäanders oder die Form eines Netzes umfassen.

Das Material, das für den Anschluß zum Anlegen einer Spannung an die Oberfläche des Nitrid-Halbleiters verwendet wird, kann ein einfaches Metall, wie beispielsweise Al, In, Cu, Ag, Au, Pt, Ir, Pd, Rh, W, Ti, Ni, Co, Sn oder Pb sein. Alternativ können auch Legierungen
10 dieser Metalle oder Silicide von Pt, W oder Mo und dergleichen verwendet werden. Außerdem können auch Zinnoxid, Indiumoxid, Zinnoxid-Indiumoxid oder degeneriertes ZnSe und dergleichen verwendet werden. Von besonderer Eignung für den auf dem Nitrid-Halbleiter des n-Typs gebildeten Anschluß sind die einfachen Metalle, wie beispielsweise Al, In, Ti, Cu, Zn, Co, Ag, Sn oder Pb oder Legierungen dieser Metalle bevorzugt. Insbesondere
15 dann, wenn das emittierte Licht von der Seite des Anschlusses her entfernt wird, sollte das Muster, das für die Anschlüsse auf dem Nitrid-Halbleiter des p-Typs oder des i-Typs verwendet wird, ein Muster des Mäander-Typs, des Netz-Typs oder des Waben-Typs sein. Die Breite und der Abstand zwischen den Anschlüssen kann variiert werden, und zwar in Abhängigkeit von der Größe des elektrischen Widerstands und der angelegten Spannung, die
20 mit der Halbleiter-Schicht des p-Typs oder des i-Typs verbunden ist. Eine Verringerung der Breite des Anschlusses und des Abstandes zwischen den Anschlüssen kann die Effizienz der Lichtextraktion in der Situation erhöhen, in der das Licht durch die Anschlüsse extrahiert wird.

25 Es folgt nun eine Beschreibung der Verfahrensweisen der Herstellung der Nitrid-Halbleiter-Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung.

Bei der Verfahrensweise der Herstellung eines Nitrid-Halbleiter-Dünnsfilms gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die eine
30 Gasquelle zur Zufuhr einer Verbindung - einschließlich Stickstoff - im gasförmigen Zustand und eine Quelle für einen festen Körper zur Zufuhr von Komponenten von Elementen der

- Gruppe III des Periodensystems aufweist. Die im gasförmigen Zustand befindliche Vorrichtung, welche Stickstoff einschließt, und die Komponenten von Elementen der Gruppe III des Periodensystems werden der Substrat-Oberfläche zugeführt, wobei sich das Substrat bei einer Temperatur von 300 °C bis 1000 °C und unter einem Druck von weniger als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) befindet. Unter diesen Bedingungen wird eine erste Schicht auf der Substrat-Oberfläche mit einer Wachstums-Geschwindigkeit von 0,01 bis 2 mm/s (0,10 bis 20 Å/s) zum Wachsen gebracht. Anschließend werden die im gasförmigen Zustand befindliche Verbindung einschließlich Stickstoff und die Komponente eines Elements der Gruppe III des Periodensystems der Oberfläche der ersten Schicht bei einer Substrat-Temperatur von 300 °C bis 1000 °C unter einem Druck von weniger als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) zugeleitet, und eine Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht wird mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 1 nm/s (0,10 bis 10 Å/s) zum Wachsen gebracht, wodurch ein Nitrid-Halbleiter-Element gebildet wird.
- 15 In diesem Zusammenhang kann die Stickstoff einschließende Verbindung eine der Verbindungen aus der Gruppe Ammoniak, Stickstofftrifluorid, Hydrazin oder Dimethylhydrazin sein. Alternativ dazu kann eine Gas-Mischung mit den vorgenannten Substanzen als Haupt-Bestandteile verwendet werden. Weiter können der Ammoniak, das Stickstofftrifluorid, das Hydrazin oder das Dimethylhydrazin mit Stickstoff oder einem
- 20 Inertgas, wie beispielsweise Argon oder Helium, verdünnt werden. Eine Gas-Zelle kann verwendet werden, um dieses Gas zuzuleiten. Diese kann in der Kristall-Wachstums-Vorrichtung mit einer Öffnung bereitgestellt werden, die dem Substrat gegenüberliegt. Die Form der Öffnung kann beispielsweise die Form einer Düse, die Form eines Schlitzes oder eine ähnliche Form sein oder kann aus Perforationen bestehen. Die Gas-Zufuhr-Anlage sollte
- 25 vorzugsweise ein Ventil und eine Vorrichtung zur Strömungskontrolle umfassen, die an Leitungen angepaßt ist, die mit der Öffnung der Gas-Zelle verbunden sind, wobei eine Vorrichtung zum Regeln des Drucks eingebaut ist, so daß die Mischungsverhältnisse und die zugeführte Menge der oben genannten Gase gesteuert werden kann und die Gaszufuhr ein- und ausgeschaltet werden kann. Außerdem sollte es mit dem Ziel, Nitrid-Halbleiter-
- 30 Dünnschichten mit hoher Qualität herzustellen, möglich sein, die Stickstoff enthaltende Verbindung bei ihrer Zufuhr zur Substrat-Oberfläche zu erhitzen, indem man die Gas-Zelle

- auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt. Um die Gas-Zelle effizient zu erhitzen, können Materialien, die eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweisen, z.B. Aluminiumoxid, Siliciumoxid, Bornitrid, Siliciumcarbid etc., verwendet werden, und zwar in faserartiger, flockenartiger, gemahlener oder als Granulat vorliegender Form. Durch Füllen der Gas-Zelle mit derartigen Körpern oder durch Einpassen dieser Körper in die Gas-Zelle in perforierter Form kann die Kontaktoberfläche, die für die im gasförmigen Zustand befindliche Verbindung in der Gas-Zelle vorgesehen ist, erhöht werden, wodurch die Effizienz des Vorgangs des Erhitzens verbessert werden kann. Es ist erforderlich, die Temperatur des Heizvorgangs in Abhängigkeit von der Art des Füllstoff-Materials der Gas-Zelle zu ändern und auch die Zufuhr-Menge an Stickstoff enthaltenden Verbindungen zu ändern. Vorzugsweise sollte die Temperatur auf einen Wert im Bereich von 100 °C bis 700 °C eingestellt werden. Weiter ist es möglich, eine Plasmagas-Zelle zum Aktivieren des Stickstoffs oder Ammoniaks, das der Substrat-Oberfläche zugeführt wird, zu verwenden. Die Menge an gasförmiger Verbindung, die der Substrat-Oberfläche zugeführt wird, sollte größer sein als die Menge der Komponenten von Elementen der Gruppe III des Periodensystems. Wenn die Zufuhr-Menge geringer ist als die letztgenannte Menge, wird der gebildete Nitrid-Halbleiter an einer signifikanten Menge des von der gasförmigen Verbindung zugeführten Stickstoffs verarmt, was es schwierig macht, einen zufriedenstellenden Halbleiter-Dünnschicht herzustellen. Dementsprechend sollte die Zufuhr-Menge der im gasförmigen Zustand befindlichen Verbindung wenigstens zehnmal so groß sein wie die Zufuhr-Menge an Komponenten von Elementen der Gruppe III des Periodensystems, vorzugsweise 100 mal so groß und noch mehr bevorzugt 1000 mal so groß wie die Zufuhr-Menge der Komponenten von Elementen der Gruppe III des Periodensystems.
- Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sollte der Druck während des Vorgangs des Kristallwachstums nicht höher liegen als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr). Der Grund hierfür ist, daß die in gasförmigem Zustand befindliche, stickstoffhaltige Verbindung und der Metaldampf, die beide für das Wachstum des Nitrid-Halbleiter-Dünnschichts erforderlich sind, die Substrat-Oberfläche erreichen, ohne miteinander zusammenzustoßen. Wenn der Druck oberhalb von $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) liegt, wird die Menge an Verunreinigungen innerhalb der Wachstums-Kammer übermäßig groß, und eine Reaktion kann erfolgen, bevor die

Komponenten die Substrat-Oberfläche erreichen. Dies macht es schwierig, einen Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht mit guten Kristallisationseigenschaften zu erhalten. Es ist besonders wichtig sicherzustellen, daß Verunreinigungen, wie beispielsweise Verbindungen, die Kohlenstoff oder Sauerstoff enthalten, auf einer Minimal-Menge gehalten werden. In dieser Hinsicht kann durch Unterdrücken der Partialdrucke von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid die Menge an Sauerstoff und Kohlenstoff, die in den Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht eindiffundieren, auf einem Minimalwert gehalten werden. Dementsprechend sollte der Partialdruck von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid bei einem Wert unterhalb von $1,33 \times 10^{-6}$ Pa (10^{-8} Torr) gehalten werden, noch mehr bevorzugt bei einem Wert von $1,33 \times 10^{-8}$ Pa (10^{-10} Torr). Die Art und Konzentration der Gas-Verunreinigungen kann mittels eines Quadrupol-Massenspektrometers gemessen werden.

Die Wachstumsgeschwindigkeit für den Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht beträgt 300 °C bis 1000 °C. Jedoch kann sich innerhalb dieses Bereichs die Zusammensetzung des Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht aufgrund der Art der verwendeten Stickstoff enthaltenden Verbindung, des Dotierungsmaterials und der Wachstumsgeschwindigkeit ändern.

Die Wachstumsgeschwindigkeit des Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht der vorliegenden Erfindung sollte im Bereich 0,01 bis 2 nm/s (0,1 bis 20 Å/s) liegen. Bei einer Wachstumsgeschwindigkeit unterhalb von 0,01 nm/s (0,1 Å/s) ist eine übermäßig lange Wachstumszeit erforderlich, um die erforderliche Schichtdicke zu erhalten. Folglich tritt eine übermäßig große Menge an Verunreinigungen aus der Wachstums-Atmosphäre in den Film ein, was es schwierig macht, einen Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht guter Qualität zu erzeugen. Bei einer Wachstumsgeschwindigkeit über 2 nm/s (20 Å/s) tritt ein Wachstum des Insel-Typs auf, so daß ein Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht guter Qualität nicht erhältlich ist. Zum Wachsenlassen eines orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht sollte die Wachstumsgeschwindigkeit im Bereich von 0,01 bis 2 nm/s (0,2 bis 20 Å/s) liegen, und für das anschließende Wachstum eines Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht auf der orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter-Schicht sollte die Wachstumsgeschwindigkeit im Bereich von 0,01 bis 1 nm/s (0,1 bis 10 Å/s) liegen. Die Wachstumsgeschwindigkeit kann gesteuert werden durch Änderung der Menge der Komponente der Hauptgruppe III des

Periodensystems, die der Substrat-Oberfläche zugeführt wird. Dies kann erreicht werden durch Einstellen der Temperatur des für die Verdampfung der Komponente des Elements der Gruppe III verwendeten Tiegels. Die Wachstumsgeschwindigkeit kann auch gesteuert werden durch Änderung der Zufuhrgeschwindigkeit der stickstoffhaltigen Verbindung und durch

5 Ändern der Substrat-Temperatur.

Als Quelle für den festen Körper im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann einfach das Element der Gruppe III verwendet werden oder können Metall-Legierungen oder Metall-Salze verwendet werden, die die Komponente des Elements der Gruppe III des Periodensystems bereitstellen. Wenigstens eine der Komponenten eines Elements der Gruppe III kann gewählt

10 sein aus Aluminium, Gallium und Indium.

Bei der Herstellung des Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht der vorliegenden Erfindung kann eine Steuerung der Träger-Dichte und eine Steuerung der Leitung des p-Typs, des i-Typs oder des

15 n-Typs erreicht werden durch Dotieren mit Verunreinigungen. Um einen Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht des p-Typs oder des i-Typs zu erhalten, kann ein Dotieren mit einer Verunreinigung, wie beispielsweise Mg, Ca, Sr, Zn, Be, Cd, Hg oder Li eingesetzt werden. Zum Erhalt eines Nitrid-Halbleiter-Dünnschicht des n-Typs kann der Träger-Typ und die Träger-Dichte geändert werden durch Ändern der Menge an Si, die als Dotierungs-

20 Verunreinigung verändert wird. In diesem Fall kann die Dotierungs-Konzentration in der Richtung der Schichtdicke geändert werden, und das δ -Dotierungsverfahren zum Dotieren nur einer speziellen Schicht kann angewendet werden. Eine Steuerung des Typs der Leitfähigkeit kann auch gefördert werden durch Bestrahlen mit einem Elektronenstrahl oder mit ultravioletter Strahlung während des Dotierens. Außerdem kann nach Abschluß des Aufbaus

25 der Stapel- bzw. Laminier-Schicht eine Verfahrensweise der Bestrahlung mit Elektronenstrahlen oder eine Hitzebehandlung angewendet werden, um die Effizienz des p-Typs zu verbessern.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann bei der Herstellung des Nitrid-Halbleiter-

30 Dünnschicht durch das MBE-Verfahren die Stickstoff enthaltende Verbindung und die Komponente des Elements der Gruppe III des Periodensystems der Substrat-Oberfläche

gleichzeitig oder aufeinanderfolgend zugesetzt werden. Alternativ dazu kann das Wachstum des Dünnsfilms unterbrochen werden und kann der dünne Film einem Verfahren zur Förderung der Kristallisation unterworfen werden. Es kann während des Wachstums des dünnen Films bevorzugt sein zu beobachten, daß der mittels des RHEED-Musters
5 beobachtbare Streifen sichtbar ist.

Es folgt nun eine Beschreibung der Verfahrensweisen der Herstellung der lichtemittierenden Halbleiter-Vorrichtungen, die von einer Laminat-Konstruktion eines Nitrid-Halbleiters Gebrauch machen, die durch das MBE-Verfahren hergestellt wurde, und zwar unter
10 Verwendung von Ammoniak-Gas. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf diese Beispiele beschränkt.

Die verwendete Anlage, wie sie in Figur 14 gezeigt ist, umfaßt eine Kristallwachstums-Vorrichtung, die mit einer Vakuum-Kammer 1 verbunden ist, in der sich Verdampfungs-
15 Tiegel (Knudsen-Zellen) 2, 3, 4, 5 und 6, eine Gas-Zelle 7 und ein Substrat-Heiz-Halter 8 finden, auf dem ein Substrat 9 montiert ist. Andere Anlagenteile schließen ein Quadrupol-Massenspektrometer 10, eine RHEED-Elektronenkanone 11, einen RHEED-Schirm 12, eine Abdeckung 13, Verschlüsse 14 bis 18, ein Ventil 19, eine Kältefalle 20, eine Diffusionspumpe 21 und eine ölversiegelte Rotations-Vakuumpumpe 22 ein.

20

Gallium-Metall wird in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur erhitzt, die für eine Wachstumsgeschwindigkeit auf der Substrat-Oberfläche von 10^{13} bis $10^{17}/\text{cm}^2\text{s}$ geeignet ist. Ammoniak wird durch die Gas-Zelle 7 eingeleitet und trifft dabei direkt auf das Substrat 9. Eine ausreichende Menge wird zugeleitet und führt so zu einer
25 Wachstumsgeschwindigkeit von 10^{16} bis $10^{20}/\text{cm}^2\text{s}$ auf der Substrat-Oberfläche. Indium, Aluminium, Arsen oder Zinn und dergleichen werden in die Verdampfungstiegel 3 und 4 gegeben, und die Temperatur und Zuleitungszeit werden so gesteuert, daß eine Mischkristall-Halbleiter-Verbindung einer vorbestimmten Zusammensetzung wächst. Magnesium, Calcium, Strontium, Zink, Beryllium, Cadmium, Quecksilber und Lithium und dergleichen werden in
30 den Verdampfungstiegel 5 gegeben, während Silicium, Germanium, Kohlenstoff, Zinn, Schwefel, Selen und Tellur und dergleichen in den Verdampfungstiegel 6 gegeben werden.

Ein Dotieren wird dann durchgeführt, indem man die Temperatur und Zufuhrzeit so einstellt, daß dies zu einer vorbestimmten Zufuhr-Menge führt.

Die R-Fläche des Saphirs wird als Substrat 9 verwendet, und diese Fläche wird auf einer
5 Temperatur innerhalb des Bereichs von 300 °C bis 900 °C erhitzt.

Zuerst wird das Substrat 9 in der Vakuum-Kammer 1 auf eine Temperatur von 900 °C erhitzt. Eine vorbestimmte Wachstumstemperatur wird dann eingesetzt, und eine Schicht aus orientiertem polykristallinen Nitrid-Halbleiter mit einer Dicke, die im Bereich von 1 bis
10 50 nm (10 bis 500 Å) liegt, wird mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,1 bis 2 nm/s (0,1 bis 20 Å/s) zum Wachsen gebracht. Der Verdampfungstiegel 6 kann zum Dotieren mit einem Dotierungsmittel des n-Typs verwendet werden, um die Leitfähigkeit in der Nitrid-Halbleiter-Schicht zu verbessern. Außerdem kann eine Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs mit einer Dicke von 0,05 bis 3 µm (micron) auf der Nitrid-Halbleiter-Schicht mit einer
15 Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 1 nm/s (0,1 bis 10 Å/s) gebildet werden. Anschließend kann durch Öffnen des Gallium-Verschlusses des Verdampfungstiegels 2 und des Verschlusses des Verdampfungstiegels 5 zur gleichen Zeit eine 10 bis 1000 nm (100 bis 10000 Å) dicke dotierte Schicht eines Nitrid-Halbleiters, der mit einem Dotierungsmittel des p-Typs oder des i-Typs dotiert ist, auf der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs
20 zum Wachsen gebracht werden. So wird ein Nitrid-Halbleiter mit laminierter Struktur hergestellt.

Es folgt nun eine Beschreibung einer einen Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung, die die oben beschriebene laminierte Struktur einschließt. Die Form des
25 Elements zusammen mit den Anschlüssen zum Aufbringen von Strom auf die Vorrichtung ist definiert durch Anwendung eines lithographischen Prozesses auf die laminierte Struktur. Der lithographische Prozeß schließt die Verwendung von Standard-Photoresist-Materialien ein. Ein Trockenätzen wird vorzugsweise in diesem Ätz-Prozeß angewendet. In dem Trockenätzprozeß können Standard-Verfahrensweisen angewendet werden, die
30 Verfahrensweisen des Ionenmahlens, ECR-Ätzens, Reaktiv-Ionenätzens, ionenstrahl-unterstützten Ätzens und Focus-Ionenstrahl-Ätzens einschließen. Insbesondere hat die

vorliegende Erfindung den Vorteil, daß deswegen, weil die Gesamt-Filmdicke des laminierten Nitrid-Halbleiter-Dünnsfilms gering ist, die Verfahrensweise des Trockenätzens in höchst effektiver Weise angewendet werden kann. Außerdem kann dann, wenn der laminierte Nitrid-Halbleiter-Dünnsfilm durch den Trockenätzprozeß beschädigt wird, durch Hitzebehandlung in einer Stickstoff-Atmosphäre, die eine Verbindung der vorliegenden Erfindung enthält, oder in Stickstoff oder einem Inertgas, wie beispielsweise Argon oder Helium eine Vorrichtung erhalten werden, die sogar bessere Eigenschaften aufweist. Die Hitzebehandlungstemperatur und Zeitdauer kann geändert werden, um sie der Zusammensetzung und Struktur des Nitrid-Halbleiters der Vorrichtung anzupassen. Beispielsweise ist bei einer GaN umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung eine Hitzebehandlung bei 500 °C für 30 min in einem Ammoniakstrom ausreichend, um Schädigungen der Oberfläche aufgrund des Ätzens zu reparieren.

Die Anschlüsse, die zum Anlegen einer einheitlichen Spannung an die Oberfläche des Nitrid-Halbleiters verwendet werden, können nach dem MBE-Verfahren, dem CVD-Verfahren, dem Vakuum-Verdampfungsverfahren, dem Elektronenstrahl-Verdampfungsverfahren oder durch Sputtern hergestellt werden. Insbesondere sollte dann, wenn das emittierte Licht von der Seite des Anschlusses her entfernt wird, das für die Anschlüsse verwendete Muster des Nitrid-Halbleiters des p-Typs oder des i-Typs ein Muster des Mäander-Typs, des Netz-Typs oder des Waben-Typs sein. Die Breite und der Abstand zwischen den Anschlüssen kann variiert werden in Abhängigkeit von der Größe des elektrischen Widerstandes und der angelegten Spannung, die mit der Halbleiter-Schicht des p-Typs oder i-Typs verbunden ist. Ein Verringern der Breite der Anschlüsse und des Abstands der Anschlüsse kann die Effizienz der Lichtextraktion für die Situation verbessern, in der das Licht durch die Anschlüsse extrahiert wird. Außerdem kann in diesem Falle auch durch Hitzebehandlung in einer Atmosphäre von Stickstoff, die eine Verbindung gemäß der vorliegenden Erfindung enthält, oder Stickstoff oder ein Inertgas, wie beispielsweise Argon oder Helium nach Bildung der Anschlüsse eine Vorrichtung erhalten werden, die sogar noch bessere Eigenschaften aufweist. Die Hitzebehandlungs-Temperatur und -Zeit kann in Abhängigkeit von dem Material der Anschlüsse und der Struktur geändert werden. Beispielsweise führt bei einer lichtemittierenden Vorrichtung des MIS-Typs, die GaN umfaßt, bei Verwendung von Al in

einem Nitrid-Halbleiter des n-Typs und bei Verwendung von Au in einem Nitrid-Halbleiter des i-Typs eine Hitzebehandlung bei 400 °C für die Zeit von 60 min in einem Strom aus Argon-Gas zu einem ausgezeichneten Metall-/Halbleiter-Kontakt.

- 5 Die durch das obige Verfahren hergestellte laminierte Struktur kann mittels einer Schneidsäge zerschnitten werden und ergibt damit einen Chip der Vorrichtung. Im Anschluß daran können nach Einsetzen in einen Leitungsrahmen eine Verdrahtung unter Verwendung von Gold-Drähten oder Aluminium-Drähten befestigt werden, wofür ein Gesenk-Bindeverfahren und/oder ein Draht-Bindeverfahren verwendet wird. Die Vorrichtung kann danach unter
- 10 Verwendung eines Epoxid-Harzes, metallischen Harzes oder Carbonat-Harzes verpackt werden und ergibt so eine lichtemittierende Vorrichtung.

Es folgt noch nun eine noch weiter detaillierte Beschreibung von Beispielen.

15

Beispiel 1

Es wird nun nachfolgend ein Beispiel angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden, lichtemittierenden Vorrichtung durch das MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

20

In diesem Verfahren wird eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die Verdampfungstiegel 2, 3, 4, 5, 6, eine Gas-Zelle 7 und einen Substrat-Heizhalter 8 umfaßt, die innerhalb einer Vakuum-Kammer 1 angeordnet sind.

- 25 Zuerst wurde eine Charge aus Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um die 1020 °C erhitzt, und eine Charge von Zink wurde in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um die 190 °C erhitzt. Gas wurde über die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Gas wurde auf eine Temperatur von 370 °C in der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer
- 30 Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Ein Substrat aus Saphir mit einer R-Fläche wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich der Atom-Abstand, der die Schnittlinie der A- und C-Flächen des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 15,7 %, und das Dreifache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 5 0,7 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, und zwar um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- 10 Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und bei einer Temperatur von etwa 900 °C 30 min lang gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den Dünnsfilm wachsen zu lassen. Um den Dünnsfilm wachsen zu lassen, wurde der Verschluß des Gallium-Tiegels 2 geöffnet, während man einen Strom aus Ammoniak-Gas von der Gas-Zelle 9 zu dem Substrat leitete. Als Ergebnis wurde ein dünner Film aus vielfach
- 15 orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von 100 nm (1000 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 350 nm (3500 Å) dicke Schicht aus Einkristall-n-GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden der
- 20 Verschluß des Tiegels 2 und der Verschluß des Zink-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zink dotiert ist, wurde in einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden, wodurch eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt wurde.
- 25 Ein Anschluß zum Zuleiten von Strom zu der Vorrichtung wurde dann auf dem laminierten Dünnsfilm mittels eines lithographischen Prozesses gebildet. Dies kann die Verwendung von Standard-Photoresist-Materialien einschließen. Bei dem Ätz-Schritt können die n-GaN-Schicht und die p-GaN-Schicht durch Ionen-Mahlen mit Argon entfernt werden und so die Räume für das Muster der Anschlüsse gebildet werden, die zum Anlegen einer Spannung
- 30 an die Vorrichtung verwendet werden. Nach Entfernen des Resist-Materials wurde die Vorrichtung in Ammoniak-Gas bei 500 °C für die Zeit von 30 min hitzebehandelt. Ein

Resist-Muster für die Anschlüsse wurde dann aufgebracht, und eine 300 nm (3000 Å) dicke Aluminium-Anschlußschicht wird auf der vielfach orientierten kristallinen GaN-Schicht abgeschieden, und eine 300 nm (3000 Å) dicke Gold-Schicht wird auf der p-GaN-Schicht unter Anwendung des Vakuum-Abscheidungsverfahrens abgeschieden. Die Vorrichtung wurde
5 anschließend in Argongas bei 400 °C für die Zeit von 60 min hitzebehandelt.

Die auf diese Weise gebildete laminierte Struktur wurde dann mit einer Schneidsäge zerschnitten und mit Golddrähten unter Anwendung einer Draht-Bindevorrichtung verdrahtet. Die Vorrichtungsstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist in Figur 2
10 gezeigt, während die Meßergebnisse für die charakteristischen Dioden-Eigenschaften und das Spektrum des emittierten Lichts in den Figuren 15 und 16 gezeigt sind. Diese Vorrichtung ergab eine Emission von blauem Licht bei einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 90 mcd, wenn ein Strom von 20 mA der Vorrichtung zugeleitet wurde.

15

Beispiel 2

Ein weiteres Beispiel, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit Hilfe des MBE-Verfahrens unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht, wird nachfolgend angegeben.

20

In diesem Verfahren wurde dieselbe Kristall-Wachstums-Vorrichtung wie diejenige verwendet, die in Beispiel 1 verwendet wurde. Als erstes wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C erhitzt. Eine Charge Mg wurde in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 280 °C
25 herum erhitzt. Gas wurde über die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt ist. Das Gas wurde auf eine Temperatur von 370 °C mit Hilfe der Gas-Zelle 7 erhitzt und wurde auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die R-Fläche eines Saphir-Substrats wurde als Substrat 9 verwendet.

30

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) zum Wachsenlassen des Dünnsfilms evakuiert.

Das Substrat wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C erniedrigt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Verdampfungstiegels 2 geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom aus der Gas-Zelle 7 auf das Substrat leitete. Als Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 100 nm (1000 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden.

Die Temperatur des Tiegels 2 wurde anschließend auf 1010 °C angehoben, und eine 350 nm (3500 Å) dicke Schicht aus Einkristall n-GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Anschließend wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Mg-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus i-GaN, das mit Mg dotiert war, wurde in einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden, wodurch eine Nitrid-Halbleiter-Laminatstruktur erzeugt wurde.

Der laminierte dünne Film wurde dann zu einer lichtemittierenden Vorrichtung unter Verwendung von Verfahren verarbeitet, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine rosafarbene Lichtemission mit einer Wellenlänge von 430 nm und einer Intensität von 5 mcd, wenn ein Strom von 2 mA der Vorrichtung zugeleitet wurde.

Beispiel 3

Ein weiteres Beispiel, das die Herstellung einer einen $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ -Halbleiter ($x = 0,1$) umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung nach dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht, wird nachfolgend angegeben.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- 5 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge In in den Verdampfungstiegel 3 gegeben und auf eine Temperatur um 820 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Mg in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 280 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde
- 10 durch die Gas-Zelle 7 geleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die R-Fläche eines Saphir-Substrats wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall

15 unterscheidet sich der Atom-Abstand, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des $\text{Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 16,0 %, und das Dreifache der Länge der C-Achse des $\text{Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 1,8 %.

- 20 Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) zum Wachsenlassen des dünnen Films evakuiert.

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Anschließend wurde die Temperatur auf 700 °C gesenkt, um den dünnen Film

25 wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurden die Abdeckungen des Gallium-Verdampfungstiegels 2 und des In-Verdampfungstiegels 3 gemeinsam geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom aus der Gas-Zelle 9 auf das Substrat leitete. Als Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem $\text{Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ mit einer Dicke von etwa 170 nm (1700 Å) auf der Substrat-Oberfläche bei einer Film-

30 Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,13 nm/s (1,3 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und die Temperatur des Tiegels 3 wurde auf

eine Temperatur von 800 °C angehoben. So wurde eine 350 nm (3500 Å) dicke Schicht eines Einkristalls $n\text{-Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ bei einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden.

- 5 Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Mg-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-i- $\text{Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ -Schicht, die mit Mg dotiert war, wurde in einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.
- 10 Der laminierte dünne Film wurde anschließend unter Anwendung von Verfahrensweisen, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet wurden, zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet.

- 15 Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 480 nm und einer Intensität von 50 mcd, wenn ein Strom von 20 mA der Vorrichtung zugeleitet wurde.

Beispiel 4

- 20 Nachfolgend wird ein weiteres Beispiel angegeben, das die Herstellung einer $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x$ -Halbleiter ($x = 0,3$) umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mittels des MBE-Verfahrens unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- 25 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge In in den Verdampfungstiegel 3 gegeben und auf eine Temperatur um 880 °C herum erhitzt. Schließlich wurde auch eine Charge Mg in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine
- 30 Temperatur um 280 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in diesem Verfahren verwendet. Dieses wurde über die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das

Ammoniak-Gas wurde auf eine Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die R-Fläche eines Saphir-Substrats wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterschied sich der Atom-Abstand, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 16,7 %. Außerdem unterschied sich das Dreifache der Länge der C-Achse des $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 4,3 %.

10 Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) zum Wachsenlassen des Dünnsfilms evakuiert.

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 680 °C gesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurden die Abdeckung des Gallium-Verdampfungstiegels 2 und diejenige des In-Verdampfungstiegels 3 gemeinsam geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom aus der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Als Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ in einer Dicke von etwa 170 nm (1700 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,15 nm/s (1,5 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 990 °C angehoben, und die Temperatur des Tiegels 3 wurde auf eine Temperatur von 840 °C angehoben. Eine 350 nm (3500 Å) dicke Schicht eines einkristallinen n- $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Anschließend wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Mg-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine einkristalline i- $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ -Schicht, die mit Mg dotiert war, wurde in einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung unter Anwendung von Verfahrensweisen verarbeitet, die ähnlich denjenigen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine grüne Lichtemission mit einer Wellenlänge von 540 nm und einer Intensität von 70 mcd, wenn ein Strom von 20 mA auf die Vorrichtung gegeben wurde.

5

Beispiel 5

Ein weiteres Beispiel wird nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ -Halbleiter ($x = 0,3$) umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mittels des MBE-Verfahrens unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

10

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe wie diejenige war, die auch in Beispiel 1 verwendet worden war.

15

Eine erste Charge von Gallium-Metall wurde in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Al in den Verdampfungstiegel 4 gegeben und auf eine Temperatur um 1070 °C herum erhitzt. Schließlich wurde auch eine Charge Mg in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 280 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in diesem Verfahren eingesetzt. Dieses wurde über die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf eine Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min auf das Substrat 9 gerichtet.

20

Die R-Fläche eines Saphir-Substrats wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterschied sich der Atom-Abstand, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 14,5 %. Außerdem unterschied sich das Dreifache der C-Achsenlänge des $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 0,9 %.

25

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) zum Wachsenlassen des dünnen Films evakuiert.

30

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde dann auf 8 °C gesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurden die Abdeckungen des Gallium-Verdampfungstiegels 2 und des In-Verdampfungstiegels 3 gemeinsam geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom aus der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Als Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ in einer Dicke von etwa 190 nm (1900 Å) auf der Substrat-Oberfläche bei einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,15 nm/s (1,5 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde danach auf 990 °C angehoben, und die Temperatur des Tiegels 3 wurde auf eine Temperatur von 10 °C angehoben. Eine 350 nm (3500 Å) dicke Schicht eines Einkristall- $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden.

Anschließend wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Mg-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-i- $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ -Schicht, die mit Mg dotiert war, wurde in einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden und so eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

Der laminierte dünne Film wurde dann zu einer lichtemittierenden Vorrichtung unter Anwendung von Verfahrensweisen verarbeitet, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 verwendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine purpurfarbene Lichtemission mit einer Wellenlänge von 370 nm und einer Energie von 0,5 nW, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 6

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- 5 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf einer Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer
- 10 Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die in Figur 1 gezeigte Saphir-Fläche, die in einem Winkel von 9,2 Grad zu der R-Fläche in Richtung auf die A-Fläche geneigt ist, wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall

- 15 unterschied sich das Vierfache des Atom-Abstands, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 1,0 %. Das Dreifache der Länge der C-Achse des GaN unterschied sich von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 0,7 %.

- 20 Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den

- 25 dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 100 nm (1000 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s)
- 30 abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem GaN wurde mit einer Film-

Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

5

Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

- 10 Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 110 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 7

15

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

- 20 In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den
25 Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf einer Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

30

Die Fläche, die in einem Winkel von 20,2 Grad zu der Saphir-Fläche ($1\ 0\ \bar{1}\ 0$) in Richtung auf die C-Fläche geneigt ist, wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstandes, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 33,2 %. Das Achtfache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 0,5 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- 10 Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach
- 15 orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 460 nm (4600 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die
- 20 Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung
- 25 verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

- Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 60 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt
- 30 wurde.

Beispiel 8

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter
5 Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- 10 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer
15 Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

- Die in Figur 17 gezeigte Fläche, die in einem Winkel von 11,3 Grad (θ₂) zu der MgO-Fläche (001) in Richtung auf die (100)-Fläche geneigt ist und um einen Winkel von 11,3 Grad (θ₃) in
20 Richtung auf die (010)-Fläche geneigt ist, wird als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Zweifache des Atom-Abstandes, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des MgO-Substrats um 2,7 %. Außerdem unterscheidet sich das Zweifache der Länge der C-Achse des GaN von dem Atom-Abstand des MgO-Substrats um 3,9 %.

25

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von
30 etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die

Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 200 nm (2000 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 45 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 9

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt.

Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

5

Die SrTiO_3 -(110)-Fläche wird als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstandes, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des SrTiO_3 -Substrats um 0,2 % und das Zweifache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des SrTiO_3 -Substrat um

10 32,3 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- 15 Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach
- 20 orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 250 nm (2500 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 300 nm (3000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem n-GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die
- 25 Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung
- 30 verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 40 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

5

Beispiel 10

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

10

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

15 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer
20 Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die TiO_2 -(110)-Fläche wird als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstands, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des TiO_2 -Substrats um 0,9 %, und das Einfache der Länge der
25 C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des TiO_2 -Substrats um 12,3 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

30

- Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 240 nm (2400 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 300 nm (3000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.
- Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.
- Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 48 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 11

- Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

- In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

Die CaF_2 -(100)-Fläche wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstandes, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des CaF_2 -Substrats um 0,9 %, und das Einfache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des CaF_2 -Substrats um 5,5 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 180 nm (1800 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

- 5 Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 52 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 12

10

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Ammoniak veranschaulicht.

- 15 In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1020 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den
20 Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Ammoniak-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Ammoniak-Gas wurde auf einer Temperatur von 370 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

25

Die in Figur 18 gezeigte Fläche, die in einem Winkel von 23,7 Grad (84) zu der MgF_2 -(110)-Fläche in Richtung auf die (100)-Fläche geneigt ist, wird als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall ist das Einfache des Atom-Abstands, das die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des MgF_2 -Substrats um 0,5 % verschieden, und das
30 Dreifache der C-Achsen-Länge des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des MgF_2 -Substrats um 2,2 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- 5 Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten. Die Temperatur wurde anschließend auf 750 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Ammoniak-Gas-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach
- 10 orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 100 nm (1000 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,12 nm/s (1,2 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 1010 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem n-GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die
- 15 Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung
- 20 verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

- Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 75 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt
- 25 wurde.

Beispiel 13

- Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-
- 30 Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Stickstofftrifluorid veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- 5 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1000 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Stickstofftrifluorid-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Stickstofftrifluorid-Gas wurde auf einer Temperatur von 250 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

- Die in einem Winkel von 8,1 Grad zu der GaAs-(001)-Fläche in Richtung auf die (010)-Fläche geneigte Fläche wird als Substrat 11 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstandes, das die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des GaAs-Substrats um 2,5 %, und das Vierfache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des GaAs-Substrats um 3,1 %.

- 20 Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

- Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt zum Wachsen des dünnen Film bei einer Temperatur von etwa 620 °C gehalten. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Stickstofftrifluorid-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 50 nm (500 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,06 nm/s (0,6 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 980 °C angehoben, und eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem n-GaN wurde mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,04 nm/s (0,4 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und

die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- 5 Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und
10 einer Intensität von 25 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 14

- 15 Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen GaN-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Stickstofftrifluorid veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war
20 wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1000 °C herum erhitzt. Weiter wurde eine Charge Zn in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 190 °C herum erhitzt.
25 Stickstofftrifluorid-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Stickstofftrifluorid-Gas wurde auf einer Temperatur von 250 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

- 30 Die GaP-(001)-Fläche wurde als Substrat 11 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Einfache des Atom-Abstands, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN

bildet, von dem Atom-Abstand des GaP-Substrats um 0,1 %, und das Vierfache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des GaP-Substrats um 5,3 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um
5 den dünnen Film wachsen zu lassen.

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 600 °C gehalten, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen
10 Stickstofftrifluorid-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Im Ergebnis wurde ein dünner Film aus mehrfach orientiertem kristallinem GaN mit einer Dicke von etwa 70 nm (700 Å) auf der Substrat-Oberfläche mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,06 nm/s (0,6 Å/s) abgeschieden. Die Temperatur des Tiegels 2 wurde dann auf 980 °C angehoben, und eine 500 nm (5000 Å) dicke Schicht aus einkristallinem n-GaN wurde mit
15 einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von etwa 0,04 nm/s (0,4 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus p-GaN, das mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

20

Der laminierte dünne Film wurde anschließend zu einer lichtemittierenden Vorrichtung verarbeitet, wofür man Verfahrensweisen anwendete, die ähnlich denen waren, die in Beispiel 1 angewendet worden waren.

25 Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 28 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde.

Beispiel 15

30

Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer einen $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ -

Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Stickstofftrifluorid veranschaulicht.

5 In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

10 Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1000 °C herum erhitzt, eine Charge In wurde in den Verdampfungstiegel 3 gegeben und auf eine Temperatur um 930 °C herum erhitzt, und eine Charge Zn wurde in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf einer Temperatur um 190 °C herum erhitzt. Stickstofftrifluorid-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Stickstofftrifluorid-Gas wurde auf einer Temperatur von 200 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.

15

Die in Figur 1 gezeigte Saphir-Fläche, die in einem Winkel von 9,2 Grad zu der R-Fläche in Richtung auf die A-Fläche geneigt ist, wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Vierfache des Atom-Abstands, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 1,0 %, und das 20 Dreifache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 0,6 %.

Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.

25

Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Die Temperatur wurde anschließend auf 700 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man 30 einen Stickstofftrifluorid-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Die Abdeckungen des Ga-Tiegels und des In-Tiegels wurden dann zusammen geöffnet. Die Temperatur des

- Verdampfungs-Tiegels 3 wurde dann schrittweise von 900 °C auf 960 °C mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,2 °C/min angehoben, und während dieser Zeit wurde eine hinsichtlich der Zusammensetzung mit einem Gradienten versehene Schicht mit einer Dicke von etwa 100 nm (1000 Å) gebildet. Diese Schicht umfaßte mehrfach orientierte
- 5 Kristallisierung, worin die Struktur von einer anfänglich abgeschiedenen GaN-Schicht zu einer letztlich erhaltenen $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ -Schicht schwankte. Bei einer Temperatur des Tiegels 2 um 980 °C herum und einer Temperatur des Tiegels 3 um 940 °C herum wurde eine 400 nm (4000 Å) dicke Schicht eines Einkristalls aus $\text{n-Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von 0,1 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die
- 10 Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine Einkristall-Schicht aus $\text{p-Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ die mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 50 nm (500 Å) abgeschieden und so eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- Der laminierte dünne Film wurde dann zu einer lichtemittierenden Vorrichtung, unter
- 15 Anwendung von Verfahrensweisen verarbeitet, die ähnlich denen waren, wie sie in Beispiel 1 verwendet worden waren.

- Diese Vorrichtung ergab eine grüne Lichtemission mit einer Wellenlänge von 535 nm und einer Intensität von 90 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt
- 20 wurde.

Beispiel 16

- Ein weiteres Beispiel ist nachfolgend angegeben, das die Herstellung einer $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ -
- 25 Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung mit dem MBE-Verfahren unter Verwendung von Stickstofftrifluorid veranschaulicht.

In diesem Verfahren wurde eine Kristall-Wachstums-Vorrichtung verwendet, die dieselbe war wie diejenige, die in Beispiel 1 verwendet worden war.

- Zuerst wurde eine Charge Gallium-Metall in den Verdampfungstiegel 2 gegeben und auf eine Temperatur um 1000 °C herum erhitzt, eine Charge In wurde in den Verdampfungstiegel 3 gegeben und auf eine Temperatur um 930 °C herum erhitzt, und eine Charge Zn wurde in den Verdampfungstiegel 5 gegeben und auf eine Temperatur um 220 °C herum erhitzt.
- 5 Stickstofftrifluorid-Gas wurde in dem Verfahren verwendet. Dieses wurde durch die Gas-Zelle 7 zugeleitet, die mit Aluminiumoxid-Fasern gefüllt war. Das Stickstofftrifluorid-Gas wurde auf einer Temperatur von 200 °C mittels der Gas-Zelle 7 erhitzt und auf das Substrat 9 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 ml/min gerichtet.
- 10 Die in Figur 1 gezeigte Saphir-Fläche, die einem Winkel von 9,2 Grad zu der R-Fläche in Richtung auf die A-Fläche geneigt ist, wurde als Substrat 9 verwendet. In diesem Fall unterscheidet sich das Vierfache des Atom-Abstands, der die Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN bildet, von dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats um 1,0 %, und das Dreifache der Länge der C-Achse des GaN unterscheidet sich von dem Atom-Abstand des
- 15 Saphir-Substrats um 0,6 %.
- Die Vakuum-Kammer wurde auf einen Druck von $2,66 \times 10^{-4}$ Pa (2×10^{-6} Torr) evakuiert, um den dünnen Film wachsen zu lassen.
- 20 Das Substrat 9 wurde zuerst erhitzt und für die Zeit von 30 min bei einer Temperatur von etwa 900 °C gehalten, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Die Temperatur wurde anschließend auf 700 °C abgesenkt, um den dünnen Film wachsen zu lassen. Um den dünnen Film wachsen zu lassen, wurde die Abdeckung des Gallium-Tiegels geöffnet, während man einen Stickstofftrifluorid-Strom von der Gas-Zelle 9 dem Substrat zuleitete. Die Abdeckungen
- 25 des Ga-Tiegels und des In-Tiegels wurden dann zusammen geöffnet. Die Temperatur des Verdampfungs-Tiegels 3 wurde dann schrittweise von 900 °C auf 960 °C mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,2 °C/min angehoben, und während dieser Zeit wurde eine hinsichtlich der Zusammensetzung mit einem Gradienten versehene Schicht mit einer Dicke von etwa 100 nm (1000 Å) gebildet. Diese Schicht umfaßte mehrfach orientierte
- 30 Kristallisierung, worin die Struktur von einer anfänglich abgeschiedenen GaN-Schicht zu einer letztlich erhaltenen $\text{Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ -Schicht schwankte. Bei einer Temperatur des Tiegels 2

um 980 °C herum und einer Temperatur des Tiegels 3 um 940 °C herum wurde eine 250 nm (2500 Å) dicke Schicht eines Einkristalls aus $n\text{-Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ mit einer Film-Wachstumsgeschwindigkeit von 0,10 nm/s (1,0 Å/s) abgeschieden. Danach wurden die Abdeckung des Tiegels 2 und die Abdeckung des Zn-Tiegels 5 gemeinsam geöffnet, und eine

5 Einkristall-Schicht aus $p\text{-Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ die mit Zn dotiert war, wurde mit einer Dicke von 500 nm (5000 Å) abgeschieden. Anschließend wurde bei einer Temperatur des Zn-Tiegels von um die 190 °C eine Einkristall- $p\text{-Ga}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{N}$ -Schicht in einer Dicke von 200 nm (2000 Å) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

- 10 Der laminierte dünne Film wurde dann zu einer Licht-Nachweis-Vorrichtung des Stift-Typs verarbeitet, wie sie in Figur 19 gezeigt ist, wofür Verfahrensweisen angewendet wurden, die ähnlich denen waren, wie sie für Beispiel 1 verwendet worden waren.

Diese Vorrichtung ergab einen Ausstoß-Strom von 6 mA bei einer angelegten Vorspannung

15 von 20 V unter Beleuchtung mit Licht von 540 nm mit einer Intensität von 100 W/m².

Vergleichsbeispiel 1

Das folgende Beispiel veranschaulicht die Herstellung eines laminierten GaN-Halbleiter-Dünnsfilms unter Verwendung eines Quarz-Reaktorrohrs, das mit einer Hochfrequenz-Induktions-Heizspule und einem Kohlenstoff-Suszeptor versehen war. In diesem Verfahren wurden Trimethylgallium und Ammoniak-Gas dem Reaktionsrohr unter Verwendung von Wasserstoff als Trägergas unter Herstellung des laminierten GaN-Halbleiter-Dünnsfilms

20 zugeführt.

25

Die R-Fläche eines Saphir-Substrats wurde als Substrat verwendet. Dieses wurde auf 1040 °C erhitzt. Trimethyl-Gallium, das auf -15 °C gekühlt worden war, wurde mit einem Wasserstoff-Trägergas mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 40 ml/min dem Reaktionsrohr zugeleitet, zusammen mit Ammoniak-Gas mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 1000 ml/min mit

30 1500 ml/min Wasserstoff als Trägergas.

Als Ergebnis entstand durch Wachsen eine 10 μm (micron) dicke Schicht aus einem n-GaN-Halbleiter auf dem Substrat mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,2 $\mu\text{m}/\text{min}$ (micron/min). Diethylzink, das auf 45 °C erhitzt worden war, wurde dann dem Reaktionsrohr in einer Strömungsgeschwindigkeit von 20 ml/min unter Verwendung von Wasserstoffgas als Trärgas zugeführt, zusammen mit dem vorstehend beschriebenen Gas, und es wurde so ein dünner Film aus einem i-GaN-Halbleiter, der mit Zink dotiert war, in einer Dicke von 1 μm (micron) abgeschieden. So wurde eine laminierte Nitrid-Halbleiter-Struktur hergestellt.

Der laminierte Dünnschicht wurde dann zu einer lichtemittierenden Vorrichtung unter Anwendung von Verfahrensweisen verarbeitet, die ähnlich denen waren, wie sie in Beispiel 1 verwendet worden war. In diesem Fall war jedoch zur Bildung des Anschlusses nötig, mehr als 5 μm (micron) des GaN-Halbleiter-Dünnschicht durch Ätzen zu entfernen; da das Ionengraß mit Argon mehr als drei Stunden in Anspruch nahm, war die Behandlungsweise für praktische Zwecke ungeeignet.

Diese Vorrichtung ergab eine Emission von blauem Licht mit einer Wellenlänge von 480 nm und einer Intensität von 18 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde. Jedoch war die Lichtemission der Vorrichtung an der Oberfläche nicht einheitlich, und die Haltbarkeit der Vorrichtung war schlecht, so daß nach einigen Minuten die Lichtintensität um einige mcd abnahm.

Vergleichsbeispiel 2

In diesem Beispiel waren abgesehen von der Verwendung der Saphir-C-Fläche als Substrat die Verfahrensweisen zur Herstellung der laminierten GaN-Halbleiter-Struktur dieselben wie in Beispiel 1.

In diesem Fall war die Fehlanordnung der Gitterkonstante der GaN-C-Fläche und der Gitterkonstante der Saphir-C-Fläche 13,8 %.

Obwohl der auf der Saphir-C-Fläche durchwachsen aufgebrachte GaN-Dünnschicht eine

Filmdicke von mehr als 500 nm (5000 Å) hatte, lag er in einem polykristallinen Zustand mit Unregelmäßigkeiten und Insel-Wachstum an der Oberfläche vor, so daß eine lichtemittierende Vorrichtung nicht hergestellt werden konnte.

5

Vergleichsbeispiel 3

In diesem Beispiel wurden - abgesehen von der Verwendung der $(1\ 1\ \overline{2}\ 5)$ -Fläche des Saphirs als Substrat - die Verfahrensweisen zur Herstellung der laminierten GaN-Halbleiter-Struktur angewendet, die dieselben waren wie in Beispiel 1. In diesem Fall stand eine Fehlanordnung von 33,2 % zwischen dem Atom-Abstand entlang der Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN und dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats und bestand eine Fehlanordnung von 26,7 % zwischen der Länge der C-Achse des GaN und dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats.

Obwohl der auf der Saphir- $(1\ 1\ \overline{2}\ 5)$ -Fläche durchwachsen aufgebrachte GaN-Dünnsfilm eine Filmdicke von mehr als 500 nm (5000 Å) hatte, lag er in polykristallinem Zustand vor, mit Unregelmäßigkeiten der Oberfläche und Insel-Wachstum, so daß eine lichtemittierende Vorrichtung nicht hergestellt werden konnte.

20

Vergleichsbeispiel 4

In diesem Beispiel wurden - abgesehen von der Verwendung eines Substrats mit einer Fläche, die in einem Winkel von 12,4 Grad zu der Saphir- $(1\ 0\ \overline{1}\ 0)$ -Fläche in Richtung auf die C-Fläche geneigt war als Substrat - die Verfahrensweise zur Herstellung der laminierten GaN-Halbleiter-Struktur dieselben wie in Beispiel 1.

In diesem Fall bestand eine Fehlanordnung von 33,2 % zwischen dem Atom-Abstand entlang der Schnittlinie der A-Fläche und der C-Fläche des GaN und dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats, und bestand eine Fehlanordnung von 0,9 % zwischen dem Dreizehnfachen der Länge der C-Achse des GaN und dem Atom-Abstand des Saphir-Substrats.

Oberflächenungenauigkeiten waren auf der ersten Schicht offensichtlich, und der Dünnsfilm aus n-GaN und i-GaN zeigte eine schlechte Einheitlichkeit.

- 5 Diese Vorrichtung ergab eine blaue Lichtemission mit einer Wellenlänge von 470 nm und einer Intensität von 10 mcd, wenn die Vorrichtung mit einem Strom von 20 mA beaufschlagt wurde. Jedoch war der lichtemittierende Abschnitt nicht einheitlich, und ein Auslaufen des Stroms war offensichtlich.

Vergleichsbeispiel 5

10

In diesem Beispiel waren - abgesehen davon, daß der GaN-Halbleiter einer Wachstumsgeschwindigkeit von 15 nm/s (150 Å/s) hatte, die Verfahrensweisen zur Herstellung der laminierten GaN-Halbleiter-Struktur dieselben wie bei Beispiel 1.

- 15 Obwohl die erste Schicht eine Dicke von mehr als 500 nm (5000 Å) hatte, lag sie in polykristallinem Zustand mit Ungenauigkeiten der Oberfläche und Insel-Wachstum vor, so daß eine lichtemittierende Vorrichtung nicht hergestellt werden konnte.

Industrielle Anwendbarkeit

20

- Bei der Nitrid-Halbleiter umfassenden lichtemittierenden Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung liegt ein extrem dünner Film, der auf einem spezifischen Substrat zum Wachsen gebracht wurde, mit guter Oberflächen-Flachheit und Kristallisation vor. Folglich werden die Verfahrensweisen zur Herstellung einer derartigen Vorrichtung vereinfacht, so daß eine hohe Zuverlässigkeit möglich ist. Es kann eine Vorrichtung hergestellt werden, die eine blaue Lichtemission erzeugt, wenn sie mit einem Strom beaufschlagt wird. Da außerdem die Dicke des Films gering ist, wird das Verfahren zur Herstellung der lichtemittierenden Vorrichtungen vereinfacht, und eine hohe Zuverlässigkeit ist möglich. Außerdem kann auch die Effizienz des Entfernens des Lichts erhöht werden.

30

Patentansprüche

- 5 1. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung, umfassend:
- ein Substrat (23);
 - eine erste Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) eines orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters mit einer Dicke von weniger als 500 nm (5000Å), die direkt auf dem Substrat (23) angeordnet ist;
 - 10 - eine Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter, die direkt auf der ersten Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) angeordnet ist; und
 - wenigstens zwei elektrische Anschlüsse (27, 28, 43, 44), die an vorbestimmten Stellen gebildet sind, wobei wenigstens einer der Anschlüsse (27) direkt mit der ersten Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) verbunden ist;
 - 15 - worin wenigstens eine der Orientierungen der periodischen Anordnung der Atome auf der Oberfläche des Substrats (23) und wenigstens eine der Orientierungen der Kristallachsen der Gitter-Fläche des Nitrid-Halbleiters der ersten Schicht, die in Kontakt mit dem Substrat (23) ist, übereinstimmen und die Fehlanpassung eines ganzzahligen Vielfachen von 1 bis 10 des Atom-Abstands der letzteren Orientierung und des Atom-Abstandes der ersteren Orientierung
 - 20 innerhalb von 5 % liegt.
2. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobrin das Substrat (23) ein
- 25 transparentes Einkristall-Substrat ist, das eine spezifische Durchlässigkeit im Wellenlängenbereich von 360 bis 800 nm von wenigstens 80 % aufweist.
3. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 2, worin das transparente
- 30 Einkristall-Substrat ein Saphir-Substrat ist.

4. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 3, worin eine Fläche des transparenten Einkristall-Substrats die Fläche $(0\ 1\ \bar{1}\ 2)$ R des Saphirs ist.

5. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 4, worin eine Fläche des transparenten Einkristall-Substrats in einem Winkel von 9,2 Grad zu der $(0\ 1\ \bar{1}\ 2)$ R-Fläche des Saphirs in Richtung auf die $(\bar{2}\ 1\ 1\ 0)$ A-Fläche geneigt ist.

6. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin der Einkristall-Nitrid-Halbleiter Stickstoff und wenigstens eine Komponente der Gruppe III des Periodensystems umfaßt, die gewählt ist aus Aluminium, Gallium und Indium.

7. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, worin die C-Achsen-Orientierung einer Kristallachse des orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters der ersten Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) parallel zur Substrat-Oberfläche ist.

8. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, worin die erste Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) aus einem orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter eine hinsichtlich der Zusammensetzung abgestufte Struktur aufweist, wobei sich die Struktur schrittweise von dem Teil, der in Kontakt mit dem Substrat (23) ist, zu dem Teil, der in Kontakt mit der Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) ist, ändert und letztlich die für die Arbeitsschicht erforderliche Zusammensetzung ergibt.

9. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, worin die erste Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) aus einem orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter eine laminierte Struktur aus alternativen, hinsichtlich der Zusammensetzung unterschiedlichen Nitrid-Halbleiter-Schichten mit einer Dicke von jeweils weniger als 10 nm (100 Å) aufweist.

10. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, worin die erste Schicht (24, 29, 32, 35, 39, 45, 49) aus einem orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiter mit einem Dotierungsmittel des n-Typs dotiert ist.

11. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter eine Schicht umfaßt, die eine Kombination von wenigstens zwei Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schichten aufweist, die im wesentlichen dieselbe Zusammensetzung haben, jedoch voneinander hinsichtlich ihres Leitfähigkeits-Typs verschieden sind.
12. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter wenigstens zwei Schichten umfaßt, von denen jede eine Kombination aus wenigstens zwei Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schichten aufweist, die im wesentlichen dieselbe Zusammensetzung haben, jedoch im Hinblick auf ihren Leitfähigkeits-Typ voneinander unterschiedlich sind.
13. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, worin die Dicke der Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus dem Einkristall-Nitrid-Halbleiter nicht größer ist als 5 μm (micron).
14. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 13, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus dem Einkristall-Nitrid-Halbleiter wenigstens eine Schicht aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs, des i-Typs und des n-Typs umfaßt und ein Anschluß zum Anlegen einer Spannung mit der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des p-Typs oder des i-Typs verbunden ist.
15. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 14, worin eine Oberflächenschicht aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs oder des i-Typs hergestellt ist und ein Anschluß, der ein Muster zum einheitlichen Anlegen einer Spannung zur Erzeugung von Licht aufweist, oberhalb einer Region der Oberflächenschicht angeordnet ist, die 50 % von deren Fläche nicht übersteigt.

16. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus dem Einkristall-Nitrid-Halbleiter einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des i-Typs, der eine Dicke von nicht mehr als 50 nm (500 Å) aufweist, einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des n-Typs, der eine Dicke von nicht mehr als 3 µm (micron), umfaßt, und ein Anschluß zum Anlegen einer Spannung auf der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des n-Typs angeordnet ist.

17. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter wenigstens einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs, der eine Dicke von nicht mehr als 2 µm (micron) aufweist, und einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des n-Typs, der eine Dicke von nicht mehr als 3 µm (micron) aufweist, umfaßt und ein Anschluß zum Anlegen einer Spannung auf der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des p-Typs angeordnet ist.

18. Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, worin die Arbeitsschicht (25, 26, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 47) aus dem Einkristall-Nitrid-Halbleiter wenigstens einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs, einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des i-Typs und einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des n-Typs umfaßt und ein Anschluß zum Anlegen einer Spannung auf der Einkristall-Nitrid-Halbleiter-Schicht des p-Typs angeordnet ist, wobei ein Strom in der Arbeitsschicht erzeugt wird, wenn die Arbeitsschicht mit Licht beleuchtet wird.

19. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung unter Verwendung einer Molekülstrahl-Vorrichtung zum epitaxialen Kristallwachstum, die eine Gasquelle zur Zufuhr einer stickstoffeinschließenden Verbindung im gasförmigen Zustand, eine Festkörper-Quelle zur Zuleitung von Komponenten der Gruppe III des Periodensystems und eine Quelle zur Zufuhr von Dotierungsmitteln des n-Typs und des p-Typs aufweist, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt, daß man

der Oberfläche eines Substrats (9) eine im gasförmigen Zustand befindliche Verbindung, die Stickstoff enthält, und eine Komponente der Gruppe III des

Periodensystems unter einem Druck von weniger als $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) zuführt, wobei das Substrat (9) bei einer Temperatur von 300 bis 1000 °C vorliegt, und so eine erste Schicht eines orientierten polykristallinen Nitrid-Halbleiters auf dem Substrat (9) mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 2 nm/s (0,1 bis 20 Å/s) erzeugt; und

der Oberfläche der ersten Schicht eine im gasförmigen Zustand befindliche Verbindung, die Stickstoff enthält, und eine Komponente der Gruppe III des Periodensystems unter einem Druck von weniger als etwa $1,33 \times 10^{-3}$ Pa (10^{-5} Torr) zuführt, wobei das Substrat (9) bei einer Temperatur von 300 bis 1000 °C vorliegt, und so eine Arbeitsschicht aus einem Einkristall-Nitrid-Halbleiter auf der ersten Schicht mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von 0,01 bis 1 nm/s (0,1 bis 10 Å/s) erzeugt;

15 worin nach Trockenätzen vorbestimmter Stellen auf der Arbeitsschicht, die wenigstens einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs oder des i-Typs und einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des n-Typs umfaßt, und vorbestimmter Stellen auf der ersten Schicht, die Vorrichtung bei einer Temperatur unterhalb der Dissoziationstemperatur des Stickstoff enthaltenden Gases oder bei der Dissoziationstemperatur des Nitrid-Halbleiters entweder in
20 einem Inertgas oder in anderen Gasen hitzebehandelt wird und Anschlüsse (27, 28, 43, 44) auf wenigstens zwei der vorbestimmten Stellen gebildet werden, wobei wenigstens einer der Anschlüsse (27) direkt mit der ersten Schicht verbunden ist.

20. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch
25 19, worin Ammoniak, Stickstofftrifluorid, Hydrazin oder Dimethylhydrazin als Stickstoff enthaltende Verbindung verwendet wird.

21. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch
19 oder Anspruch 20, worin die Stickstoff-Gas enthaltende Verbindung erhitzt und der
30 Oberfläche des Substrats zugeführt wird.

22. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach Anspruch 19, worin Stickstoff und Ammoniak als Stickstoff enthaltende Verbindung verwendet werden und diese im Plasma-Gas-Zustand zugeführt werden.

5

23. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, worin der Partialdruck einer Kohlenstoff enthaltenden Verbindung innerhalb der Kristall-Wachstums-Vorrichtung geringer ist als $1,33 \times 10^{-6}$ Pa (10^{-8} Torr).

10

24. Verfahren zur Herstellung einer Nitrid-Halbleiter-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, worin nach Trockenätzen vorbestimmter Stellen auf der Arbeitsschicht, die wenigstens einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des p-Typs oder einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des i-Typs des und einen Einkristall-Nitrid-Halbleiter des n-Typs umfaßt, und vorbestimmter Positionen auf der ersten Schicht das Element bei einer Temperatur unterhalb der Dissoziationstemperatur des Stickstoff enthaltenden Gases oder der Dissoziationstemperatur des Nitrid-Halbleiters entweder in einem Inertgas oder in anderen Gasen hitzebehandelt wird und Anschlüsse auf wenigstens zwei vorbestimmten Stellen gebildet werden.

15

0607 435

02.02.90

1/8

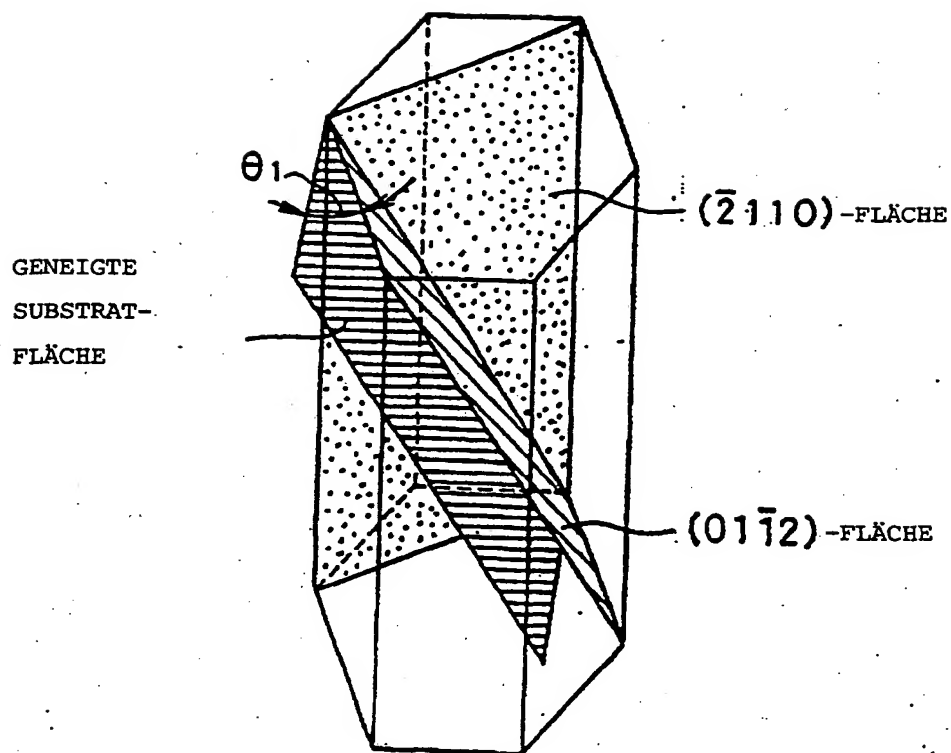


FIG. 1

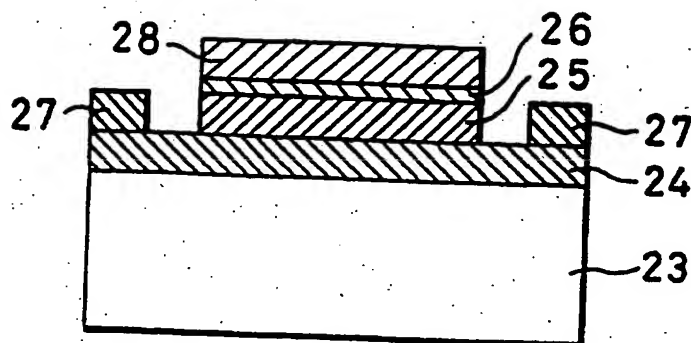


FIG. 2

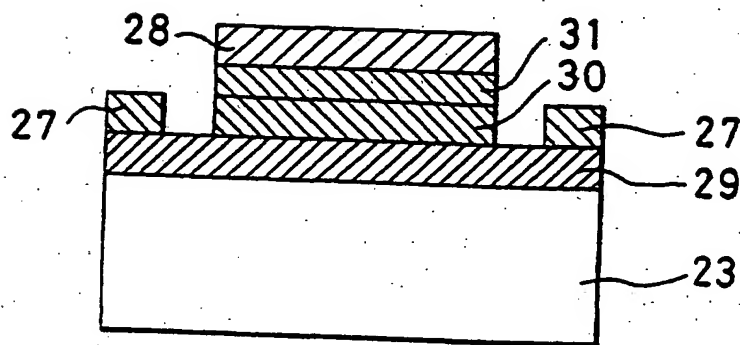


FIG. 3

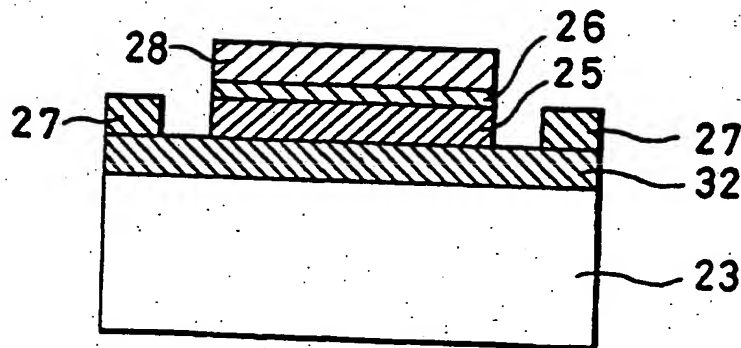


FIG. 4

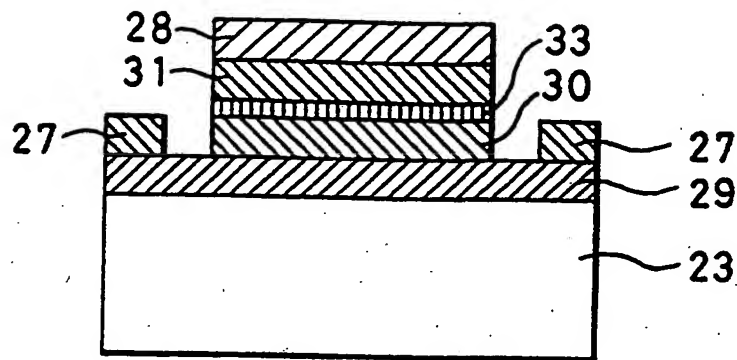


FIG. 5

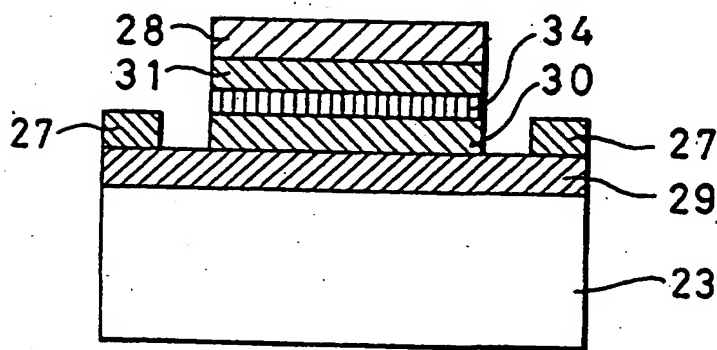


FIG. 6

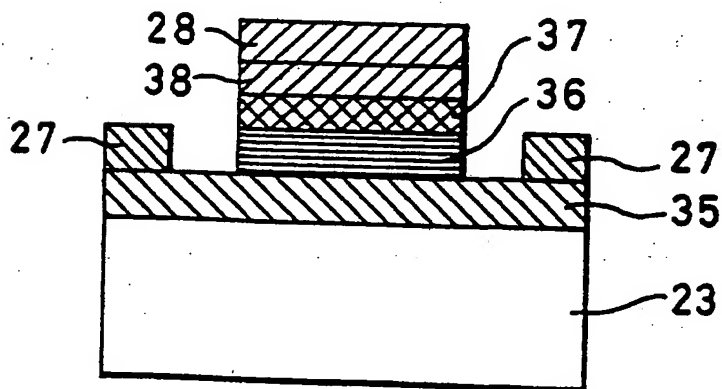


FIG. 7

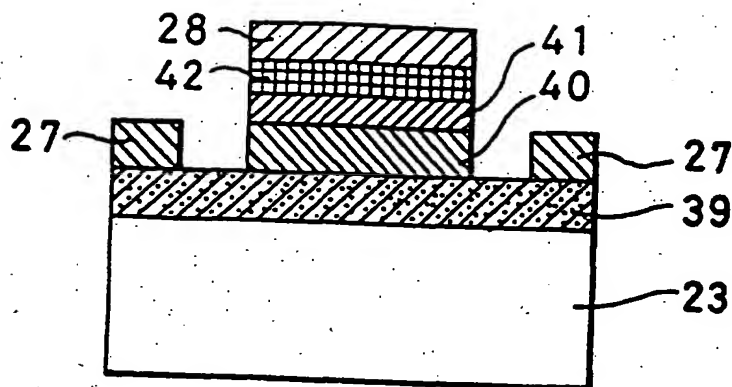


FIG. 8

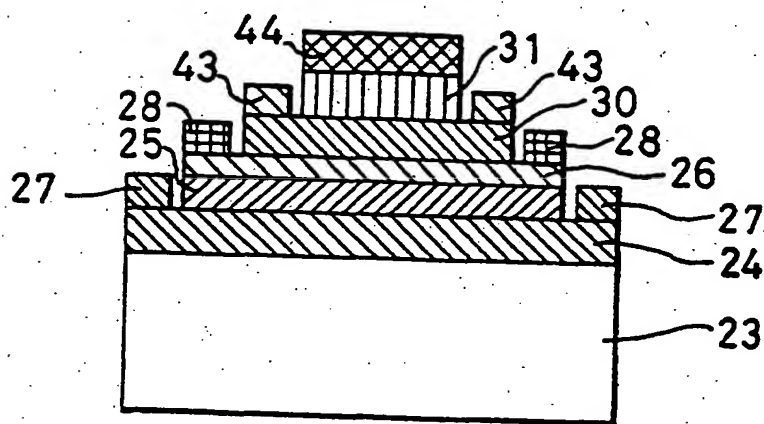


FIG. 9

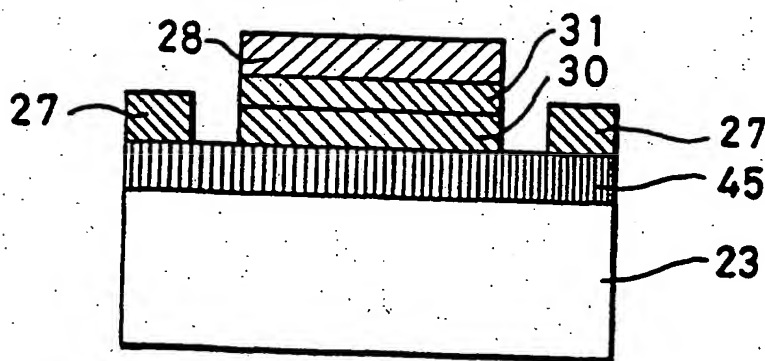


FIG. 10

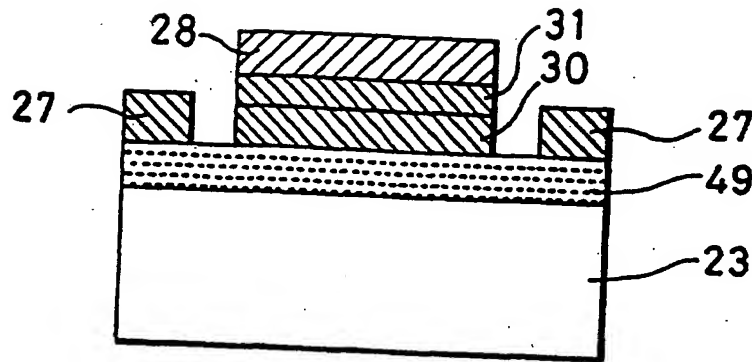


FIG. 11

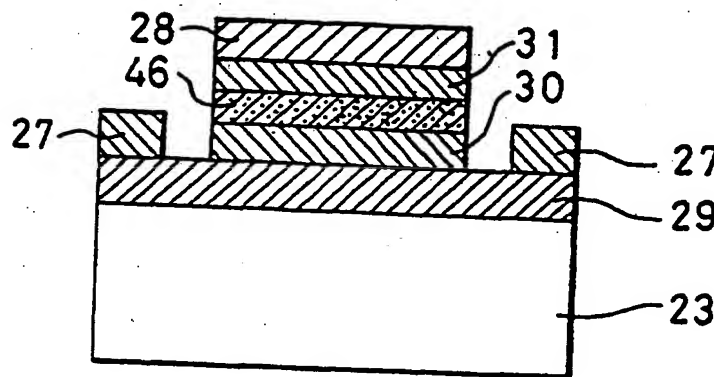


FIG. 12

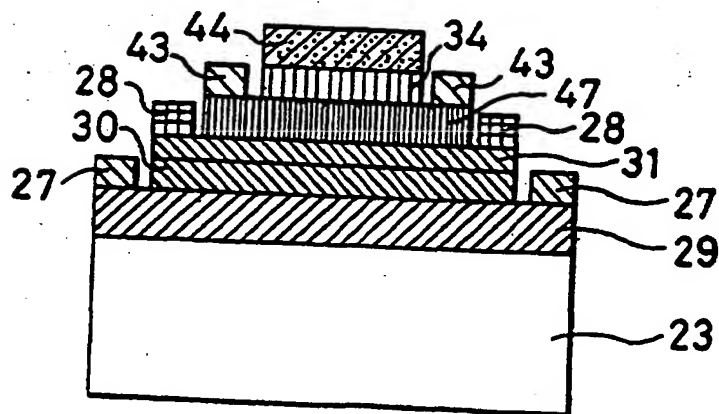


FIG. 13

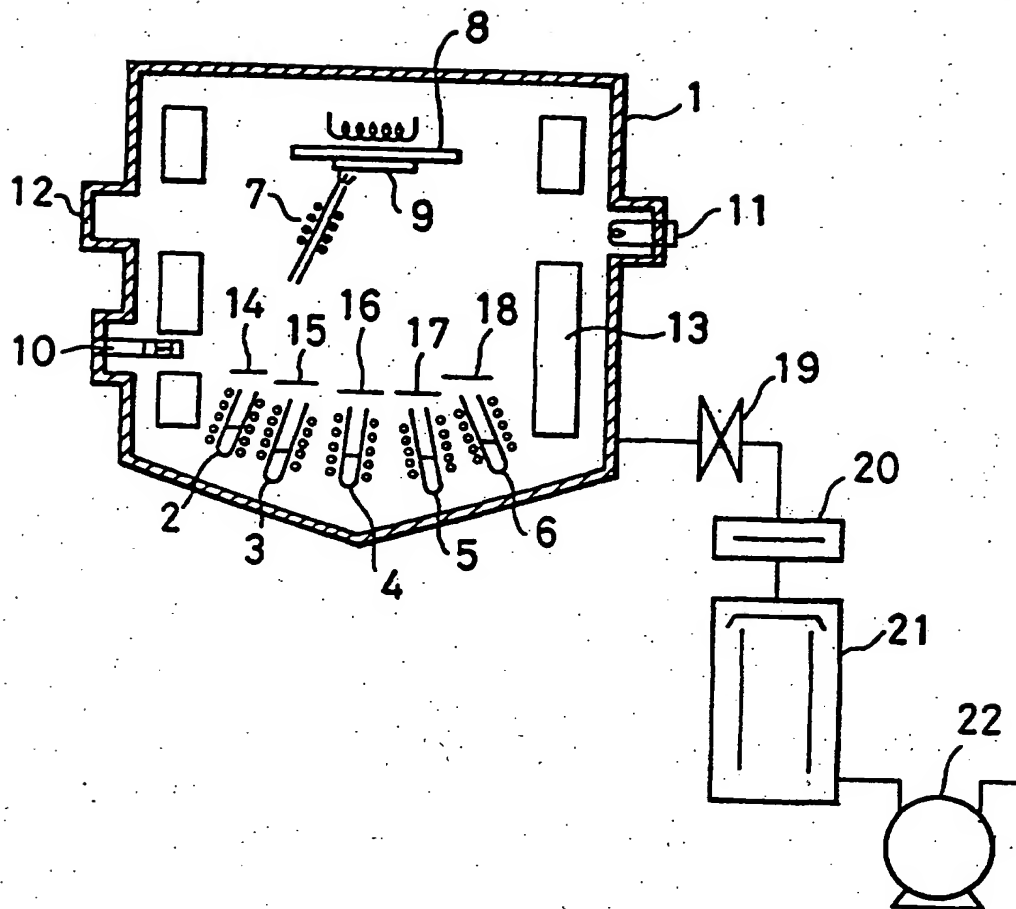


FIG. 14

02.02.00

7/8

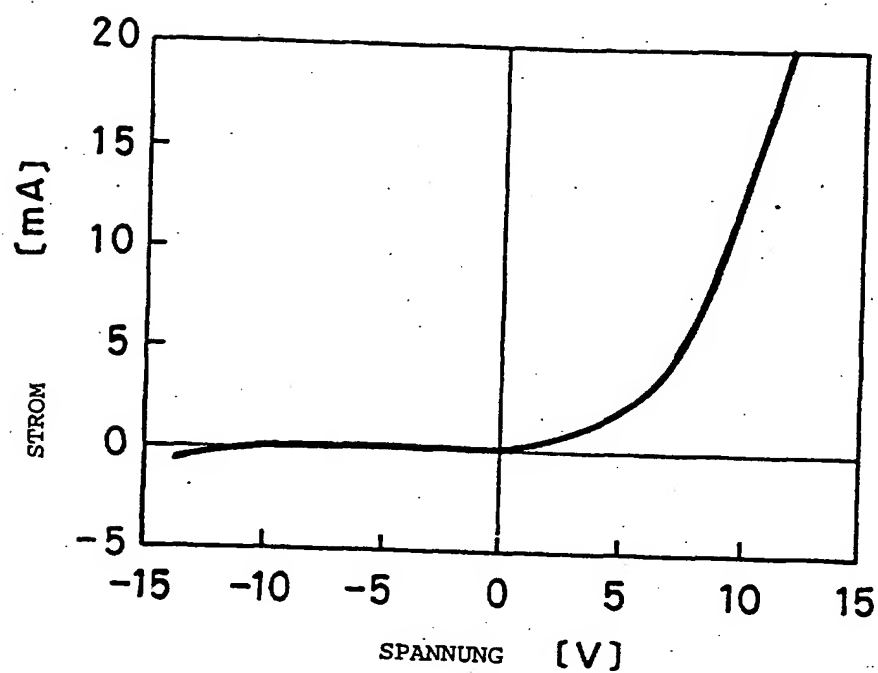


FIG.15

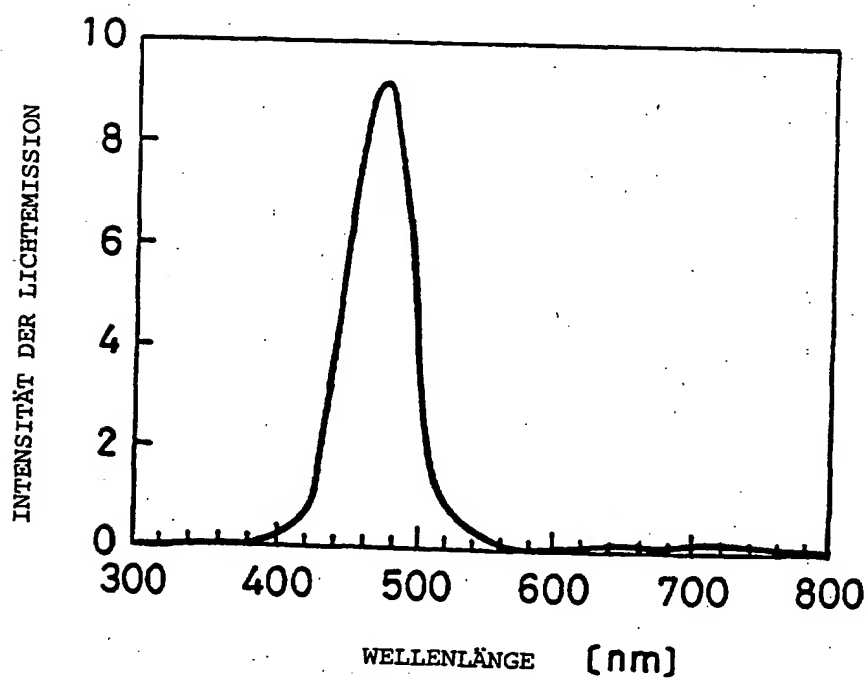


FIG.16

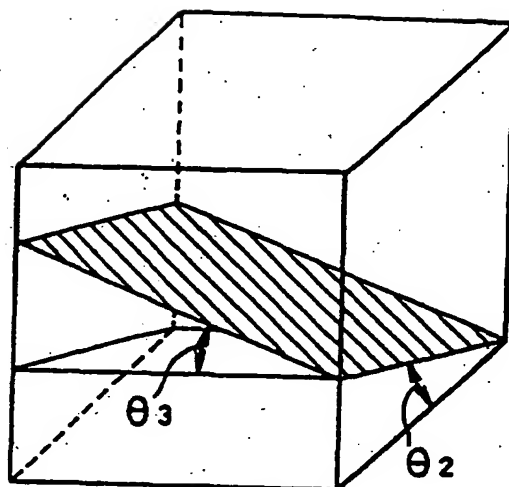


FIG. 17

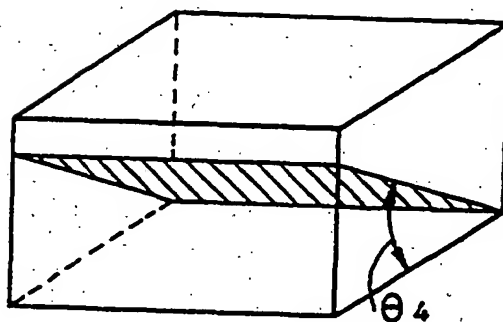


FIG. 18

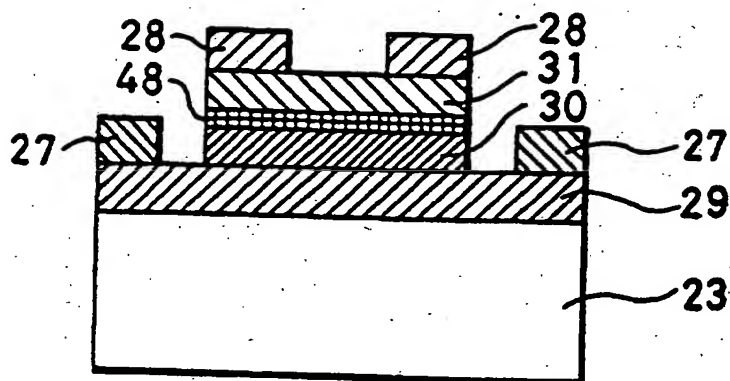


FIG. 19

This Page Blank (uspto)